Preis 3 kr. (№ 197—202.) oder 1 Ngr.

Wochenbände

für das

geistige und materielle Wohl

des

deutschen Volkes.

Herausgegeben

von der

Gesellschaft zur Verbreitung guter und wohlfeiler Bücher.

Mit einer Menge von Abbildungen.

Der Elektromagnetismus.

Stuttgart, 1847.

Die Expedition der Wochenbände.

Darstellung

des

Elektromagnetismus.

von

P. M. Roget,
Sekretär der Königl. Gesellschaft.

Herausgegeben
von der
Gesellschaft zur Verbreitung nützlicher Kenntnisse.

Aus dem Englischen
von
Dr. Franz Kottenkamp.

Mit vielen Abbildungen.

Stuttgart:
Die Expedition der Wochenbände
1847.

Druck von Scheible, Rieger & Sattler in Stuttgart.
Xylographie von E. Roller in München.

Erstes Kapitel.

Geschichte der Wissenschaft vor Oersted's Entdeckung.

1. Die Aehnlichkeit, welche zwischen den Erscheinungen des Magnetismus und denen der Elektrizität in ihrem allgemeinen Charakter, in den Gesetzen, welche sie leiten, und ihren verschiedenen Verbindungen stattfindet, ist so ausgedehnt und merkwürdig, daß sie natürlich zu dem Gedanken führt, die wirkenden Kräfte selbst müßten mit einander verwandt und durch ein enges und genaues Verhältniß gegenseitig verknüpft sein. Kühne Theoretiker haben die Lehre aufgestellt, ein jedes dieser Prinzipe sei nur eine Veränderung des anderen, und beide ließen sich als endlich gleich in ihrer Natur betrachten, indem so eine einzige Kraft von höherer Ordnung als einfache, anstatt zweier gesonderter und ursprünglicher Kräfte dargeboten würde.

2. Die Verbindung zwischen Magnetismus und Elektrizität war ein Lieblingsgegenstand der Forschung und Untersuchung gegen die Mitte des vergangenen Jahrhunderts; mannigfache Versuche wurden zur Lösung der verführerischen Aufgabe gemacht, welche jedoch den Bemühungen aller Physiker entging, die nach einander ihre Versuche vervielfachten, und ihre Verfahrungsarten veränderten, ohne den erstrebten Zweck zu erreichen; eben so wenig Erfolg hatten Diejenigen, welche Theorien über eine unentdeckte Thatsache aufstellten, so daß die Versuche machenden Physiker, die Theoretiker und die Leser sämmtlich in den Irrgängen phantastischer und einander widerstreitender Hypothesen verwirrt wurden.

3. Die churfürstlich baierische Akademie stellte 1774 folgende Preisfrage auf: „Gibt es eine wirkliche und physisch darzuthuende Aehnlichkeit zwischen den elektrischen und magnetischen Kräften und in welcher Art wirken diese Kräfte auf den thierischen Körper?“

Die der Akademie bei der Gelegenheit eingereichten Abhandlungen wurden von Professor Van Swinden in Franeker, dem Verfasser einer der Abhandlungen, denen die Preise zuerkannt wurden, gesammelt und herausgegeben: „Recueil de Mémoires sur l'Analogie de l'Electricité et du Magnétisme, couronnés et publiés, par l'Académie de Bavière etc." par J. H. Van Swinden. A la Haye. 1784. Der Schluß, zu dem er nach langer und mühsamer Verhandlung gelangte, ging dahin, die Aehnlichkeit zwischen Elektrizität und Magnetismus sei bloß scheinbar und biete keine wahre physische Entsprechung; daraus schloß er, daß beide Kräfte bestimmt von einander verschieden seien. Die entgegengesetzte Meinung wurde von Steiglehner und Hubner vertreten, welche behaupteten, eine so genaue Aehnlichkeit, wie diejenige, welche die zwei Klassen von Erscheinungen zeigten, müßte die Wirkungen einer einzigen Kraft andeuten, welche allein in Folge der verschiedenen Umstände wechselten. Gegenwärtig sind so viel neue Thatsachen seit der Zeit bekannt geworden, worin diese Verfasser schrieben, daß die Darlegungen beider Parteien in diesem Streite ihr Interesse gegenwärtig vielleicht nur mit Ausnahme des Umstandes verloren haben, daß die Beobachtung der Abwege von der Wahrheit im Augenblick, wo man dieselbe beinahe erreicht hatte, und worin eine kleine Veränderung in der Form der Versuche dieselbe plötzlich erschlossen haben würde, allerdings wenigstens einen Gegenstand der Neugier bildet.

4. Spätere Entdeckungen über die Gesetze elektrischer und magnetischer Thätigkeit, sowohl in Bezug der Anziehung wie der Abstoßung, wie auch über Induktion, haben allerdings die Aehnlichkeit zwischen beiden bestätigt, und die Meinung bekräftigt, daß beide aus einer gemeinsamen Quelle hervorgehen. Die Elektrizität allerdings äußert Einfluß auf jede Art der Materie, womit wir bekannt sind, in einem beinahe gleichen Grade, während der Magnetismus, obgleich vielleicht in seinen Wirkungen auf gleiche Weise allgemein, dennoch nur schwach und vielleicht ungleich auf jede Art von Stoff wirkt, und sicherlich seine Hauptwirksamkeit nur auf Eisen übt, ein Umstand, der bis jetzt unerklärlich blieb, obgleich wir die Kenntniß erlangt haben, daß Elektrizität unter gewissen Veränderungen jede Wirkung des Magnetismus erzeugen wird. Die Elektrizität, wie wir wissen, läßt sich von einem Körper zum anderen übertragen, allein der Magnetismus kann nur durch Induktion erregt werden und vermag keine ähnliche Art Uebertragung zu äußern. Dennoch hatte man viele bestimmte Thatsachen, welche unabhängig

von aller Aehnlichkeit den Umstand bewiesen, daß die Magnetnadel gelegentlich in ihren Bewegungen Einfluß durch die Wirkungen der Elektrizität erlitt, und daß die magnetischen Eigenschaften in gewissen Fällen durch elektrische Explosionen erregt werden könnten. Die Erscheinung des Nordlichtes, welche alle Charaktere einer elektrischen Erscheinung zeigt, ist oft von einer Störung in der Stellung der Compaßnadel begleitet gewesen, und eine zart aufgehängte magnetische Nadel hat bei diesen Gelegenheiten sehr häufige Schwingungen allgemein gezeigt. Der Blitz, welcher entschiedener elektrisch ist, hat in zahllosen Beispielen die Polarität der Compaßnadel zerstört und bisweilen umgekehrt; viele Unglücksfälle auf Schiffen in Folge eines Irrthums in ihrem Laufe sind wahrscheinlich dieser Ursache zuzuschreiben. Als Bestätigung dieses Umstandes dient folgender Bericht in den Abhandlungen der königlichen Gesellschaft zu London in den Siebenzigern Jahren des siebenzehnten Jahrhunderts: Das Schiff Alexander kam im 48. Breitegrad 110 Meilen vom Cap Cod in ein heftiges Gewitter; der Mast ward vom Blitz getroffen, welcher auch die Compaßpole umkehrte, eine Veränderung, die man erst in der folgenden Nacht entdeckte, als die Sterne zum Vorschein kamen, worauf man fand, daß man in dem Lauf gesteuert hatte, welcher dem beabsichtigten entgegengesetzt war. Ferner wird angegeben, daß einer der Compasse, dessen Ende früher nach Norden zeigte, jetzt nach Westen gerichtet war. Ein anderes Beispiel wird in demselben Werk im Anfange des siebenzehnten Jahrhunderts berichtet, wo ein Blitzstrahl durch eine Büchse, mit einer großen Zahl Messer und Gabeln ging, einige schmolz und die übrigen in dem Schiffsraum zerstreute. Man fand, daß alle nicht geschmolzenen stark magnetisch geworden waren, so daß sie große Nägel und andere in ihre Nähe gebrachten Eisenstücke emporhoben. Man stellte Versuche mit elektrischer Batterie an, um diese Wirkungen nachzuahmen, und um die Umstände zu erkennen, von welchen dieselben abhängig waren. Obgleich jedoch Stahlstangen sehr leicht elektrisch wurden, wenn stark elektrische Schläge hindurchgingen, so waren doch die Wirkungen nicht gleichförmig, und kein allgemeines Gesetz ließ sich aufstellen, welches die Erzeugung und Vertheilung der so eingeführten Polarität bestimmte. Ein großer Theil der Wirkungen schien sich auf die Erschütterung zurückführen zu lassen, welche die Theilchen der Stange in Folge der Heftigkeit erhielten, womit der angehäufte Strom der Elektrizität hindurchstürzte, indem dadurch dem Induktionseinfluß der Erde Wirksamkeit ertheilt wurde. Dieser Einfluß

hängt von der Lage der Stange in Bezug auf die Richtung der Neigungsnadel ab, wie in der Darstellung des Magnetismus dargelegt wurde (§. 109), eine Richtung, welche dieselbe ist, wie die des Erdmagnetismus. Die Versuche von Scoresby, die derselbe in der Absicht anstellte, um den Betrag dieses Einflusses zu erkennen, wenn derselbe Unterstützung durch elektrische Erschütterung erhält, bestätigte vollkommen den Grundsatz, worauf diese Art, die Erscheinung zu erklären beruht, indem sie darlegten, daß die Wirkung eines gewaltigen elektrischen Schlages, der eines Hammerschlages oder einer gewaltsamen Flechtung des Eisens oder einer anderen Art mechanischer Gewaltthätigkeit ähnlich ist.

6. Es blieben jedoch noch mehre nicht zu erklärende Erscheinungen übrig, für deren Erläuterung dieser Grundsatz den Leitfaden nicht darbot. Diese Erscheinungen zeigten sich hauptsächlich, wenn man die elektrische Entladungen in der Quere oder in schräger Richtung durch die Stange gehen ließ; denn man fand in diesen Fällen, es sei unmöglich vorher zu sagen, welche Richtung die eingeführten Pole annehmen würden, oder sogar, ob sich eine bestimmte Polarität der so behandelten Stange mittheilen ließe.

Nichts erläutert so sehr die Neigung der Menschenseele, allgemeine Schlüsse aus ungenügenden Thatsachen zu ziehen, wie die verschiedenen Meinungen, welche Physiker mit größtem Selbstvertrauen über die verschiedenen Versuche, die sich auf diesen Gegenstand bezogen, aussprachen. D'Alibard glaubte durch diese Versuche bewiesen zu haben, daß die elektrische Entladung demjenigen Punkte einer Stahlstange, wo sie eintritt, eine nördliche Polarität ertheilt und daß eine südliche Polarität an demjenigen entsteht, wo sie ihren Ausgang macht, und zwar unabhängig von irgend einer Stellung der Nadel in Bezug auf die magnetischen Pole der Erde. Wilke dagegen bildete sich ein, daß er eine unwandelbare Verbindung zwischen der negativen Elektrizität und der nördlichen Polarität beweisen könne. Die mühsame Reihe von Versuchen, welche Van Swinden mit der Absicht unternahm, diese auffallenden Abweichungen auszugleichen, schien, anstatt den Streit zu entscheiden, noch mehr Schwierigkeiten zu erzeugen. Im Jahr 1777 unternahm der auch als Naturforscher, ebenso als Rechtsgelehrter und Politiker mit Recht berühmte Graf Beccaria eine ähnliche Nachforschung; obgleich er, wie seine Vorgänger, kein Glück in der Entdeckung der wahren Natur des magnetischen Einflusses der Elektrizität hatte, fiel ihm doch eine merkwürdige

Thatsache bei seinen Versuchen auf, deren Werth jedoch er nicht gehörig gewürdigt zu haben scheint. Er fand, daß eine Compaßnadel, durch die er einen elektrischen Schlag hindurch gesandt hatte, eine sonderbare Art Polarität erlangte; statt daß sie sich wie gewöhnlich nach Norden und Süden drehte, nahm sie dazu ein rechtwinkelige Stellung ein, indem ihre zwei Enden nach Osten und Westen zeigten. Wäre er der Untersuchung gefolgt, welche diese wichtige Thatsache ihm eröffnete, so würde er bald zur wichtigen Entdeckung gelangt sein, welche ein halbes Jahrhundert später von Oersted gemacht wurde und welche das ganze Geheimniß enthüllt hat.

7. Da man nichts dadurch gewann, daß man sehr heftige Wirkungen stark verdichteter Elektrizitätsladungen beobachtete, so beschäftigten sich andre Physiker mit dem aufmerksamen Studium des ruhigeren Einflusses dieser wirkendeu Kraft, wenn sie allein in isolirten Leitern aufgehäuft ist, und einfache Anziehung und Abstoßung in Verbindung mit den Wirkungen des Magnetismus übt. In welcher Art man aber auch diese Wirkungen verband, so ließ sich nichts entdecken, welches eine Theilnahme der Wirksamkeit oder Wirkungsveränderung in Folge der Verbindung anzeigte. Ein elektrisirter Körper übt dieselbe Anziehung und Abstoßung auf eine magnetisirte Nadel, wie auf dieselbe Nadel, wenn sie des Magnetismus entbehrt, noch äußert sie, wie der Magnetismus, einen entschiedenen Vorzug für Eisen, vergleicht man dies mit der Einwirkung auf andere Metalle. Sind die zwei Wirksamkeiten in demselben Körper vereinigt, z. B. wenn Stahlstangen, die schon magnetisch gemacht und auch mit Elektrizität beladen sind, so gestellt werden, daß sie aufeinander einwirken, so scheinen ihre elektrischen und ihre magnetischen Wirkungen vollkommen gesondert und in keiner Hinsicht Einfluß auf einander zu üben.

8. Die Entdeckung des Galvanismus und die Erfindung der Volta'schen Vorrichtung eröffnete ein neues Feld der Untersuchung; da sie nämlich das Mittel darbot, einen fortlaufenden Strom Elektrizität in sehr großem Betrage zu erhalten, machte sie die Untersuchung der Wirkungen dieser gewaltigen Wirksamkeit unter Umständen sehr verschiedener Art, wie denjenigen möglich, über welche man bis dahin verfügen konnte. Die elektrochemischen Erscheinungen, welche durch Anwendung dieser Erfindung an einem andern Zweig der elektro-physischen Wissenschaft erkannt wurden, nahmen lange Zeit die Talente der Physiker Europas in Anspruch und beschäftigten ausschließlich deren Aufmerksamkeit; viele Jahre vergingen, bevor man Volta'sche Elektrizität auf magnetisirte

Körper anwandte; die wenigen Physiker, welche die gegenseitige Beziehung dieser zwei Vermögen oder deren Gleichheit darzustellen suchten, erregten nur wenig Aufmerksamkeit in Folge der Dunkelheit ihrer Darlegung oder der Ungenauigkeit ihrer Versuche; die verschiedenen Angaben, die sich in den damaligen Zeitschriften über Beobachtung von Bewegungen der Magnetnadel, bei Einwirkung der Volta'schen Säule vorfanden, waren zu unbestimmt, um zu einen Schluß zu berechtigen. Die bestimmteste Angabe über diesen Gegenstand war die von Ritter, welcher behauptete, daß eine Nadel, die aus Silber und Zink bestand, sich in den magnetischen Meridian gestellt hatte, und durch die Pole eines Magnetes leicht angezogen und abgestoßen war. Er gab ferner an, daß es ihm gelungen sei, einer Goldmünze positive und negative elektrische Pole zu ertheilen, indem er sie in einen galvanischen Strom versetzte, und die so mitgetheilte Polarität sei vom Golde beibehalten worden, nachdem es mit anderen Metallen in Berührung gekommen war, und scheine deßhalb an der Natur des Magnetismus Theil zu haben. Eine Goldnadel erlangte unter ähnlichen Umständen eine noch mehr entschiedene magnetische Eigenschaft. Diese Versuche erweckten bei Ritter eine unbestimmte Vorstellung, daß elektrische Verbindungen, wenn sie ihre elektrische Spannung nicht äußerten, in einem magnetischen Zustand sich befänden, und daß eine Art elektromagnetischen Meridians vorhanden sei, der auf der Elektrizität der Erde beruhe und im rechten Winkel zu den magnetischen Polen stehe. Allein diese Spekulationen waren noch zu unreif, als daß eine Verbindung zwischen Magnetismus und Elektrizität dadurch hätte hergestellt werden können.

Zweites Kapitel.

Bericht von Oersted's Versuchen.

9. Der wirkliche Entdecker der magnetischen Eigenschaften elektrischer Ströme war Oersted, Professor der Physik und Sekretär der Königlichen Gesellschaft zu Kopenhagen. In einem Werk, das er in deutscher Sprache 1813 über die Gleichheit der Natur der chemischen und elektrischen Kräfte herausgab, hatte er Vermuthungen über die gegenseitigen Beziehungen ausgesprochen, welche zwischen der elektrischen, galvanischen und magnetischen Flüssigkeit vorhanden sei, indem er glaubte, alle drei seien nur in dem Grade ihrer Spannung verschieden. Er folgerte: Wenn der Galvanismus bloß eine mehr gebundene Form der Elektrizität sei, so könne der Magnetismus vielleicht nichts weiter sein, als Elektrizität in einer noch mehr gebundenen Form; er stellte deßhalb die Frage als der Untersuchung würdig auf, ob die Elektrizität, in dieser ihrer am meisten gebundenen Form angewandt, nicht einen merkbaren Einfluß auf den Magnet üben könnte? Es ist schwierig, zu begreifen, was er unter dem Ausdruck: gebundener Zustand, in Anwendung auf Elektrizität, eigentlich verstand; für uns aber ist es genügend zu wissen, daß er in den verschiedenen Versuchen, die er später anstellte, zu solchen gelangte, die ihm bestimmte Anzeigen über den Einfluß Volta'scher Ströme auf die magnetische Nadel gaben. Nachdem ihm sogar dies gelungen war, blieb die Bestimmung der wirklichen Richtung dieser Wirkung sehr schwierig, und erst gegen 1819 wurde seine Beharrlichkeit mit einem vollständigen Erfolge belohnt.

10. Der erste Bericht von seiner Entdeckung, der in England erschien, stand 1820 in einer Zeitschrift über Physik. Es ist folgender: „Die zwei Pole einer starken Volta'schen Batterie wurden durch einen Metalldraht verbunden, so daß sie eine vollständige galvanische Kette bildeten. Der Draht, welcher dazu dient, ist von Oersted der Schließungs- oder Vereinigungsdraht genannt worden, und er bezeichnet die

Wirkung, die in diesem Leiter und in dem umgebenden Raume beim Durchgange der Elektrizität stattfindet, mit dem Namen elektrischer Konflikt, weil er die Vorstellung hegt, es finde sich ein fortwährender Zusammenstoß und Neutralisation der zwei Arten elektrischer Flüssigkeiten, während sie in entgegengesetzten Strömungen in der Vorrichtung umliefen. Alsdann nahm er eine Compaßnadel, brachte sie auf ihrem Zapfen in gehöriges Gleichgewicht, ließ sie die natürliche Lage im magnetischen Meridian annehmen und legte einen geraden Theil des Vereinigungsdrahtes horizontal über die Nadel und in paralleler Richtung mit derselben. Er vervollständigte alsdann die galvanische Kette, so daß der Strom durch den Draht ging. Im Augenblick, wo dies geschah, veränderte die Nadel ihre Stellung; ihre Enden wichen von Norden und Süden nach Osten und Westen ab, je nach der Richtung, worin der elektrische Strom floß, so daß die Umkehrung der Richtung des Stromes auch die Richtung der Nadel umkehrte. Das allgemeine Gesetz hat er auf folgende Weise ausgedrückt: „dasjenige Ende der Nadel, welches der negativen Seite der Batterie zunächst liegt, oder auf welches der Strom positiver Elektrizität zufließt, bewegt sich sogleich nach Westen."

11. Die Abweichung der Nadel ist dieselbe, wenn der Vereinigungsdraht anstatt unmittelbar über der Nadel zu liegen, etwas östlich oder westlich von ihr liegt, vorausgesetzt er bleibt parallel mit ihr und über ihr. Dies erweist, die Wirkung sei nicht das Resultat eines einfachen Anziehungs- oder Abstoßungseinflusses, denn derselbe Pol der Magnetnadel, welcher dem Schließungsdraht sich nähert, wenn er auf der Ostseite liegt, weicht zurück, wenn er auf der Westseite liegt.

12. Wird der Schließungsdraht in einer horizontalen Fläche unter die Magnetnadel gestellt, so erleidet letztere im gleichen Grade Einfluß wie in dem früheren Falle; die Bewegungen aber geschehen in entgegengesetzter Richtung, denn der Pol der Nadel, der dem negativen Ende der Batterie zunächst liegt, weicht jetzt nach Osten ab.

13. Die oben beschriebenen Wirkungen lassen sich durch Figur 1 und 2 besser erklären, wo N S die zwei entgegengesetzten Pole der auf ihrem Zapfen im Gleichgewicht schwebenden Magnetnadel darstellt; p n ist der Vereinigungsdraht; das Ende p ist mit dem positiven oder Kupferende der einfachen galvanischen Batterie und das andere Ende n mit dem negativen oder Zinkende derselben Batterie verbunden (siehe Galvanismus §. 15). Die Richtung des positiv elektrischen

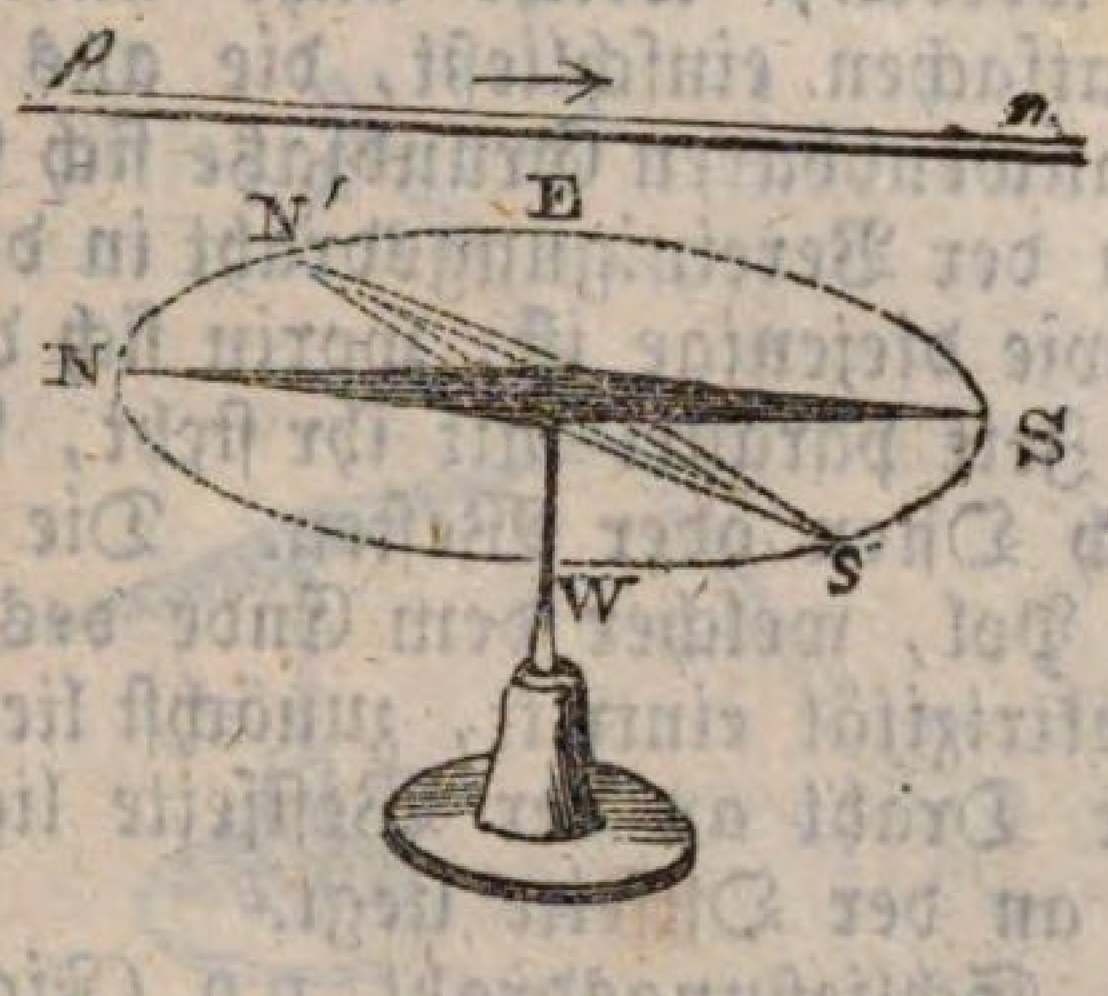


Fig. 1.

Stromes ist deßhalb von p nach n, wie die Pfeile dieselbe in der Figur anzeigen. Ist der Vereinigungsdraht über der Nadel, wie in Fig. 1, so bewegt sich der Pol S, welcher der negativen Seite der Batterie zunächst liegt, oder auf welchen der Strom der positiven Elektrizität zufließt, nach W, der westlichen Seite des horizontalen mit Punkten angegebenen Kreises, und die Nadel nimmt die Stellung N′ S′ ein. Ist der Draht unter der Nadel wie in Figur 2, so bewegt sich derselbe Pol S nach E, dem Ostpunkt des Horizontes und die neue Lage wird N′ S′ mit einer Neigung sein, welche in umgekehrter Weise, wie die in ersterem Fall gerichtet ist.

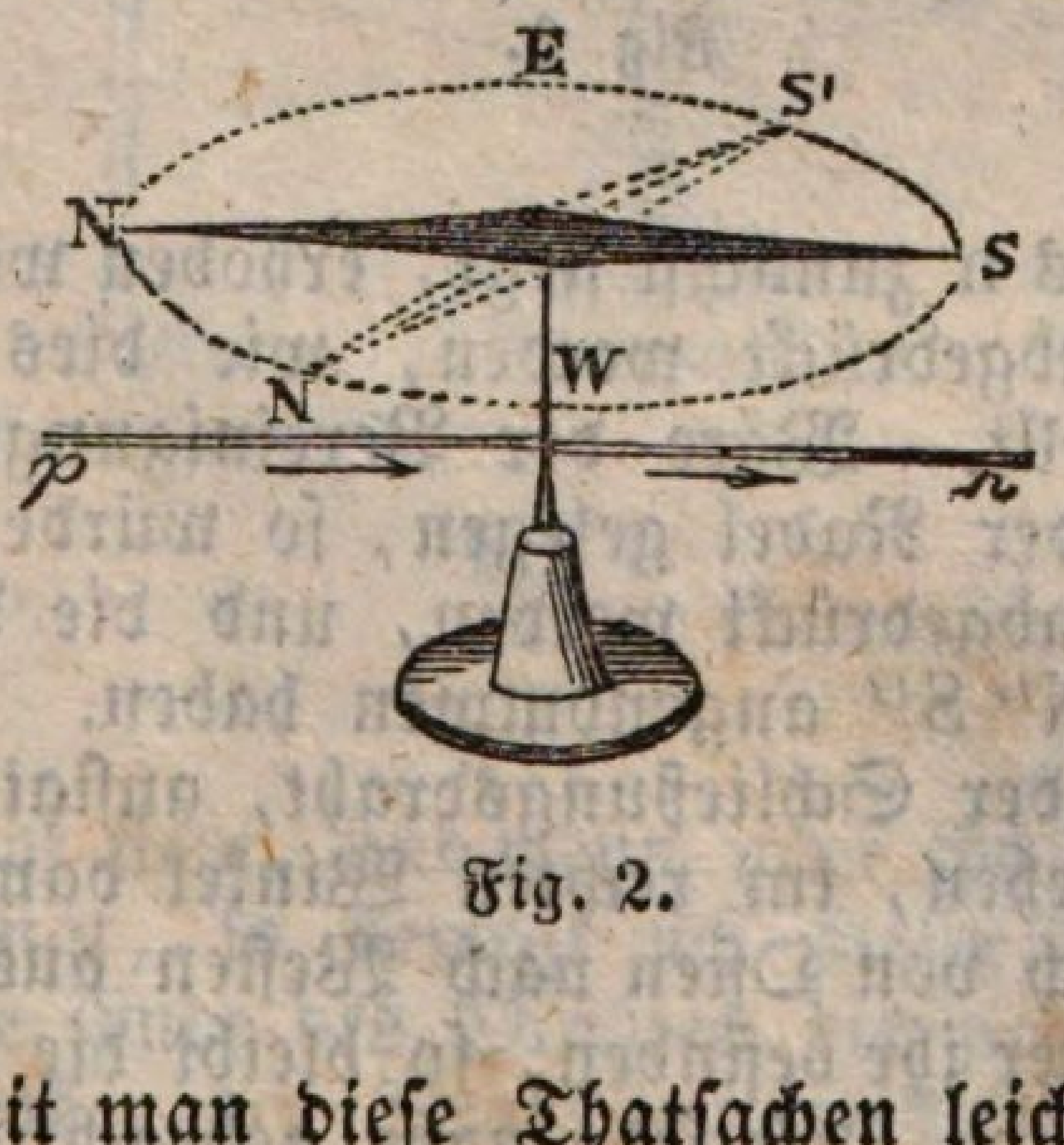


Fig. 2.

14. Damit man diese Thatsachen leichter im Gedächtniß behalten kann, stellte Oersted folgende Formel auf: der Pol, **über** welchen die negative Elektrizität eintritt, dreht sich nach **Westen**, **unter** welchem er eintritt, nach **Osten**. Eine andere und noch bequemere Formel wird übrigens von

uns aufgestellt werden, welche nicht allein diese, sondern viele andere Thatsachen einschließt, die aus einem allgemeineren auf alle anwendbaren Grundsatze sich folgern lassen.

15. Wenn der Vereinigungsdraht in derselben Horizontalfläche liegt, wie diejenige ist, worin sich die Nadel bewegt, und zur selben Zeit parallel mit ihr steht, so findet sich keine Abweichung nach Osten oder Westen. Die Nadel aber neigt sich, so daß der Pol, welcher dem Ende des Drahtes, worin die negative Elektrizität eintritt, zunächst liegt, herabgedrückt wird, wenn der Draht an der Westseite liegt, und erhoben wird, wenn er an der Ostseite liegt.

Wenn der Schließungsdraht p n (Fig. 3) in gleicher Fläche mit der Nadel NS und parallel damit auf der östlichen Seite liegt, so wird der Pol S, welcher dem negativen

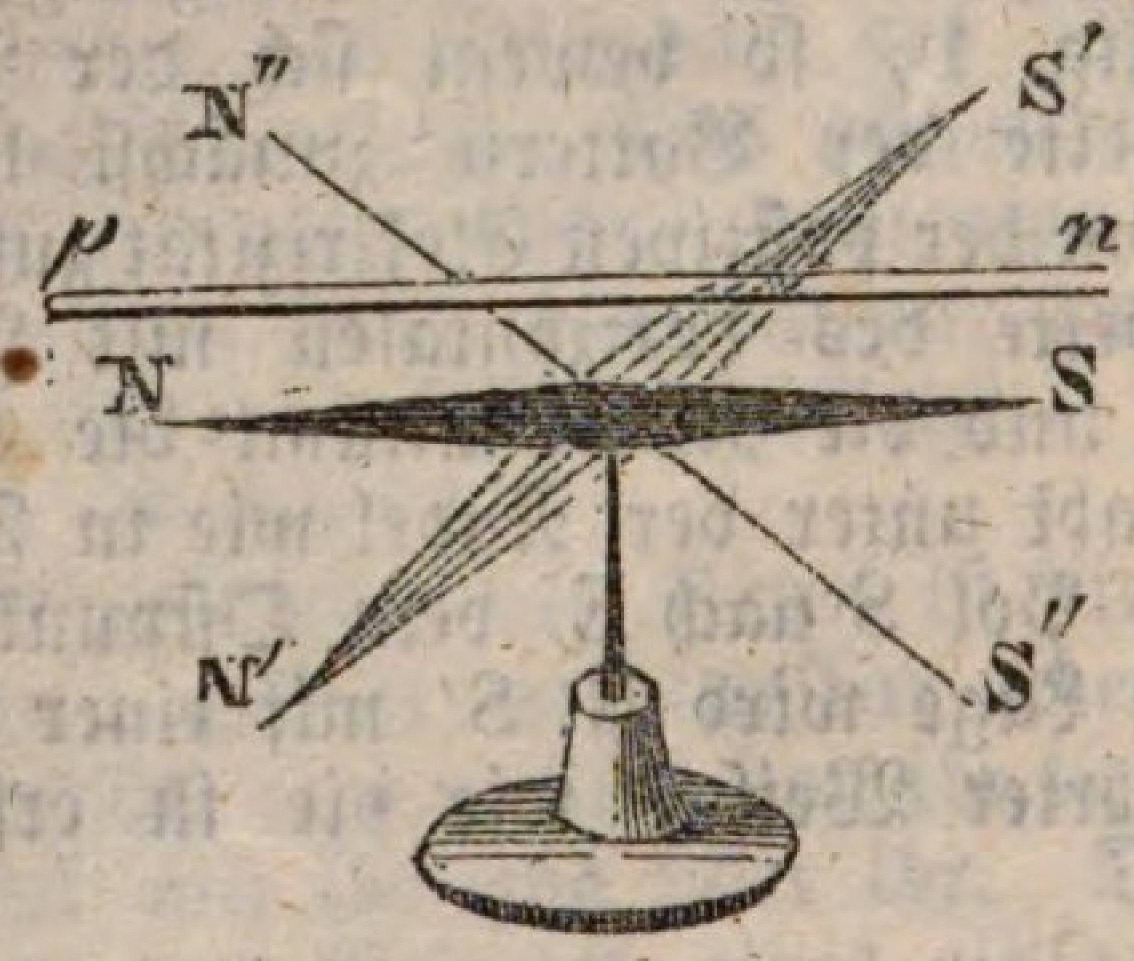


Fig. 3.

Ende des Drahtes n zunächst liegt, erhoben werden, und der Pol N wird herabgedrückt werden, wie dies die punktirte Linie N′S′ darstellt. Wäre der Vereinigungsdraht auf der westlichen Seite der Nadel gelegen, so würde der Pol N erhoben und S herabgedrückt werden, und die Axe der Nadel würde die Lage N″S″ angenommen haben.

16. Wenn der Schließungsdraht, anstatt mit der Nadel parallel zu stehen, im rechten Winkel damit gestellt wird d. h. indem er sich von Osten nach Westen ausdehnt, mag er sich über oder unter ihr befinden, so bleibt die Nadel in Ruhe, wenn er nicht einem Pole sehr nahe gebracht wird; in dem Fall wird der Pol erhoben, wenn der Eintritt der negativen Elektrizität von der westlichen Seite des Drahtes kömmt, und herabgedrückt, wenn dies von der östlichen Seite her der Fall ist. So wird der Pol S (Fig. 4) erhoben, wenn der Strom

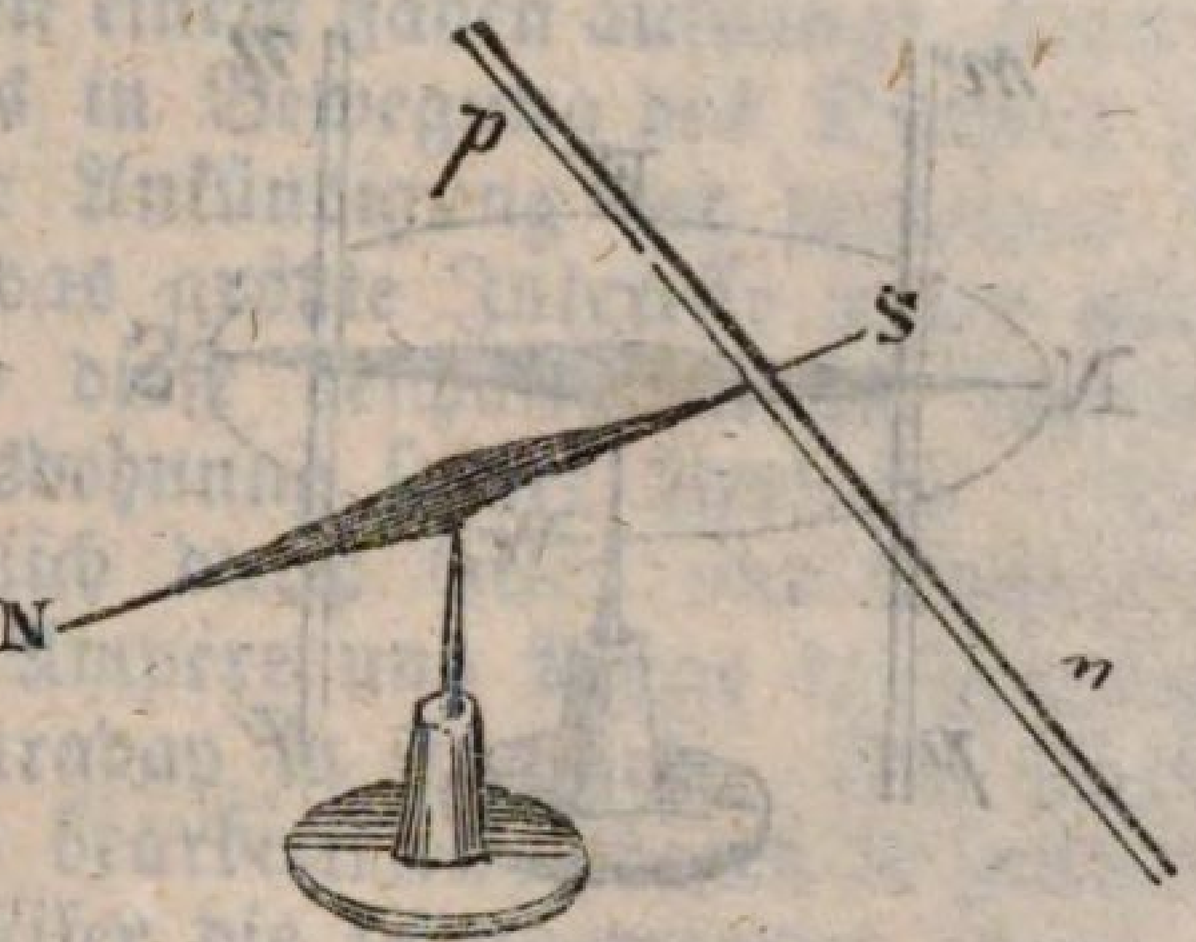


Fig. 4.

positiver Elektrizität von p nach n geht, d. h. wenn der Eintritt der negativen Elektrizität von der Westseite des Drahtes her geschieht.

17. Wenn der Schließungsdraht, statt horizontal zu liegen, scheitelrecht, wie Figur 5 zeigt, sowohl zum Nord=,

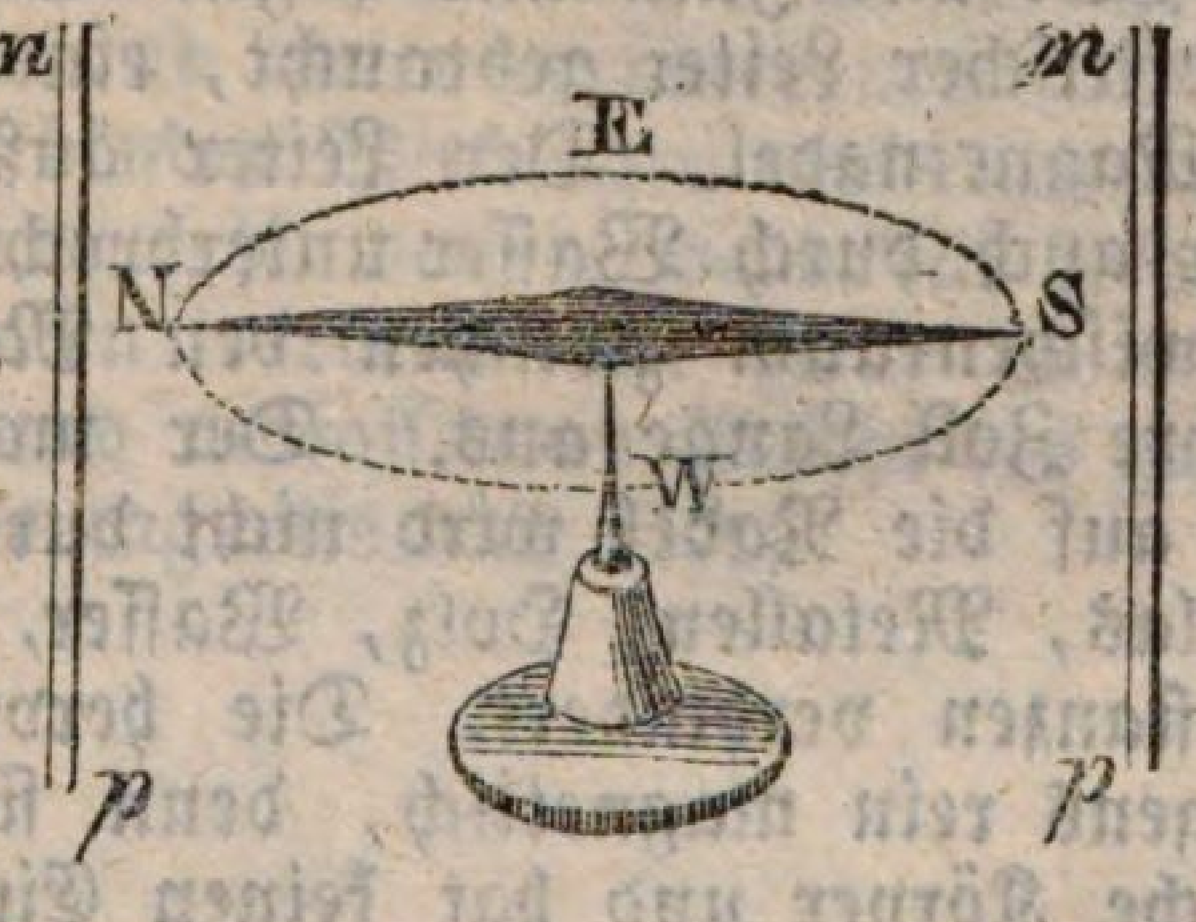


Fig. 5.

wie zum Südpol steht, und wenn man ihn dann an den ihm nahen Pol bringt, so bewegt sich dieser Pol nach Osten, wenn das obere Ende des Drahtes die negative Elektrizität erhält; wenn aber der Draht einem Punkte zwischen dem Pol und der Mitte der Nadel entgegengesetzt gestellt wird, wie in Figur 6, so weicht derselbe Pol nach Westen ab. Wenn das obere Ende des Drahtes positive Elektrizität erhält, so werden die Erscheinungen umgekehrt.

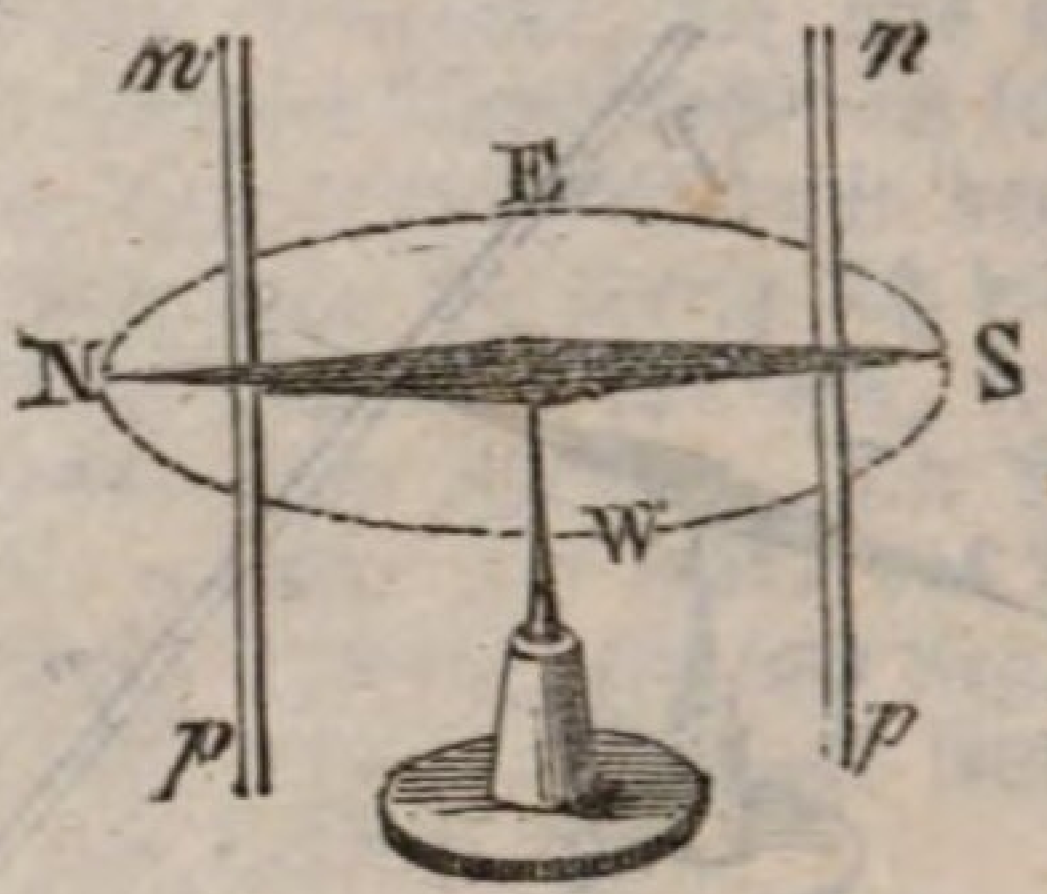


Fig. 6.

18. Oersted fand, daß diese Versuche eben so gut gelangen, wenn der Schließungsleiter aus einem oder zwei Dräthen oder Metallbändern, die verbunden waren, bestand; auch verändert sich nicht die Wirkung in ihrer Art, obgleich sie im Grade etwas verschieden sein mag, wenn man verschiedene Metalle gebraucht; so hat Platina, Gold, Silber, Messing, Eisen, Blei und Zinn und sogar Quecksilber in einer Röhre, als elektrischer Leiter gebraucht, einen ähnlichen Einfluß auf die Magnetnadel. Der Leiter äußert dies Vermögen, wenn er auch durch Wasser unterbrochen ist, vorausgesetzt, der Zwischenraum zwischen den Metallen dehnt sich nicht auf mehre Zoll Länge aus. Der magnetische Einfluß des Drahtes auf die Nadel wird nicht durch das Zwischenliegen von Glas, Metallen, Holz, Wasser, Harz, Stein oder anderen Substanzen verhindert. Die hervorgebrachte Wirkung ist übrigens rein magnetisch, denn sie äußert sich nur auf magnetische Körper und hat keinen Einfluß auf Nadeln von Messing, Glas oder Gummilack. Sie scheint nicht von der Stärke der umlaufenden Elektrizität, sondern nur von deren Betrage abzuhängen. Somit fand Oersted, daß er mit einer einfachen galvanischen Kette alle Versuche wiederholen konnte, die er zuerst mit einer galvanischen Batterie angestellt hatte. Auf diese Weise konnte er die gegenseitige Wirkung entdecken, welche die Pole eines Magnets auf die Leitungsdrähte üben; wenn man nämlich eine Zinkplatte von 6 Q.Z. zwischen zwei als Mulde gebildete Kupferplatten, um die Säure zu enthalten, stellt, welche auf die erstere einwirken soll, indem man sie ferner durch kleine Korkstücke von Berührung frei hält, alsdann eine Verbindung zwischen den beiden Platten

durch einen ausgedehnten Draht bildet, und endlich die ganze Vorrichtung an einem Faden aufhängt, kann man die Wirkung des Magnetes in Bewegung des Drahtes leicht erkennen.

19. Die Ankündigung der wichtigen Entdeckung Oersteds erregte das größte Interesse unter allen Naturforschern Europas und diese beschäftigten sich sogleich mit Wiederholung und Ausdehnung seiner Versuche. Zu denen, die sich hierin anfänglich durch Eifer und Thätigkeit auszeichneten, befanden sich Ampère und Arago in Frankreich und Sir H. Davy und Faraday in England. Die Physiker, welche dieses neue Feld bearbeiteten, waren so zahlreich und verfolgten mit solchem Eifer die so unerwartet ihnen geöffnete Bahn, daß eine große Zahl interessanter Thatsachen schnell bekannt wurde; kaum ist es möglich, die Ansprüche auf die erste Entdeckung sogar bei den wichtigsten Thatsachen herauszustellen, da alle in derselben Laufbahn mit gleichem Eifer vorwärts drängten. Anstatt deßhalb der Zeitfolge nach den Fortschritt der Kenntniß in dieser Wissenschaft darzustellen, werden wir in einer mehr systematischen Weise unsere Darlegung geben. Wir werden zuerst die allgemeinen Grundsätze darstellen, worauf die Physiker allmählig durch Schlüsse oder durch Folgerungen aus den Versuchen gelangten; alsdann werden wir die verschiedenen Verbindungen dieser Grundsätze auf verschiedene Weise und unter verschiedenen Umständen, sowie die daraus sich ergebenden Wirkungen darstellen; zuletzt werden wir auf die Erklärungen hinweisen, welche für besondere Naturerscheinungen geboten werden, und zwar in der Ordnung, welche zu klarer und umfassender Ansicht des ganzen Gegenstandes des Elektromagnetismus führt.

Drittes Kapitel.

Grundgesetz der elektromagnetischen Wirkung.

20. Eine aufmerksame Untersuchung der beschriebenen Thatsachen wird uns bald überzeugen, daß die magnetische Kraft, die aus dem elektrischen Leitungsdrahte herausfließt, eine durchaus andere Wirksamkeit äußert, wie andere Naturkräfte, mit denen wir bekannt sind. Sie wirkt nicht in einer parallelen Richtung mit dem Strome, der über den Draht hingeht, noch in einer Ebene, welche durch diese Richtung hindurchgeht; sie äußert sich offenbar in einer zum Draht senkrechten Richtung, hat aber keine Neigung, die Pole des Magnetes in einer geraden Linie unmittelbar nach oder vom Drahte zu bewegen, wie es in jedem andern Falle abziehender oder abstoßender Wirksamkeit der Fall ist. Die Eigenthümlichkeit ihrer Wirkung besteht darin, daß sie Bewegung in kreisrunder Richtung um den Draht erzeugt, d. h. in einer Richtung mit rechtem Winkel zum Radius oder in der Richtung der Tangente eines Kreises, der um den Draht in einer zu demselben senkrechten Ebene beschrieben ist; deßhalb hat die magnetische Kraft, wie Barlow dies ausdrückt, eine tangentiale Wirkung.

21. Die im Umfang dieser Kreise stattfindende Richtung der Thätigkeit, welche auf einen Pol eines Magnetes durch die elektrische Strömung geäußert wird, die sich in rechtem Winkel zur Ebene der Kreise bewegt, wird durch die Richtung des Stromes bestimmt. Denken wir uns den Leitungsdraht in scheitelrechter Stellung wie Figur 7 zeigt, p n und daß der Strom positiver Elektrizität dadurch hinabsteigt oder sich von p nach n bewegt (wobei natürlich die negative Elektrizität die entgegengesetzte Richtung hat) — und nehmen wir durch einen Punkt C des Kreises die Ebene N N senkrecht zu p n, d. h, wenigstens in diesem Fall eine horizontale Ebene — beschreiben wir endlich eine Zahl Kreise in dieser Ebene mit C als Mittelpunkt, so wird die Wirkung des Stromes im Drahte auf den Nordpol eines Magnetes, der irgendwo in

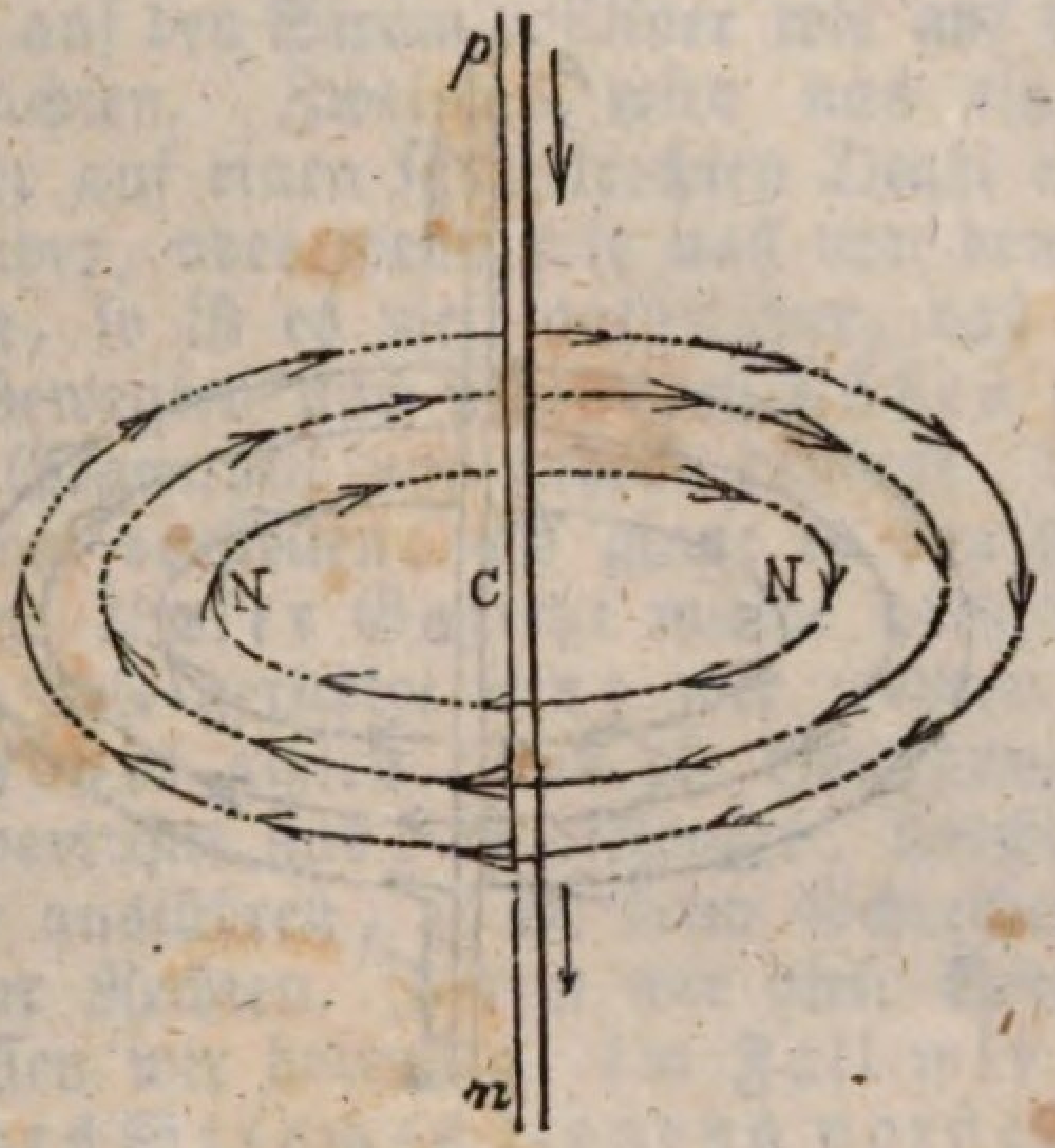


Fig. 7.

dieser Ebene liegt, dahin gehen, ihn in der Linie der Tangente des Kreises zu bewegen, welcher durch sie hindurchgeht, und zwar in der Richtung, welche die Pfeile der Figur anzeigen, d. h. von der Linken zur Rechten in dem entfernten Theil des Kreises und von der Rechten zur Linken in dem näheren Theil; mit andern Worten: die erzeugten Bewegungen sind in der entsprechenden Richtung diejenigen, welche die Weiser auf einer Uhr ausführen, deren Zifferblatt nach dem positiven Pol einer Volta'schen Batterie steht.

22. Wenn die Richtung der Strömung umgekehrt wird, indem der Draht seine scheitelrechte Stellung behält, so wird die Richtung der Wirkung ebenfalls umgekehrt; die kreisförmigen Bewegungen entsprechen den Bewegungen der Weiser einer Uhr mit dem nach unten gerichteten Zifferblatt, d. h. die nach dem positiven elektrischen Pole gerichtet ist.

23. Die Wirkungen der aufsteigenden und absteigenden elektrischen Flüssigkeit auf den Südpol eines Magnetes sind genau das Gegentheil von denjenigen, die auf den Nordpol geäußert werden. Figur 8 stellt die Wirkung des Stromes, der sich von p nach n bewegt, auf den Südpol dar; der Strom ist von der Rechten zur Linken in demjenigen Theil des Kreises gerichtet, welcher dem Draht gegenübersteht und welcher deßhalb den Südpol in entgegengesetzter Richtung zu den Weisern einer Uhr treiben wird; wenn man die

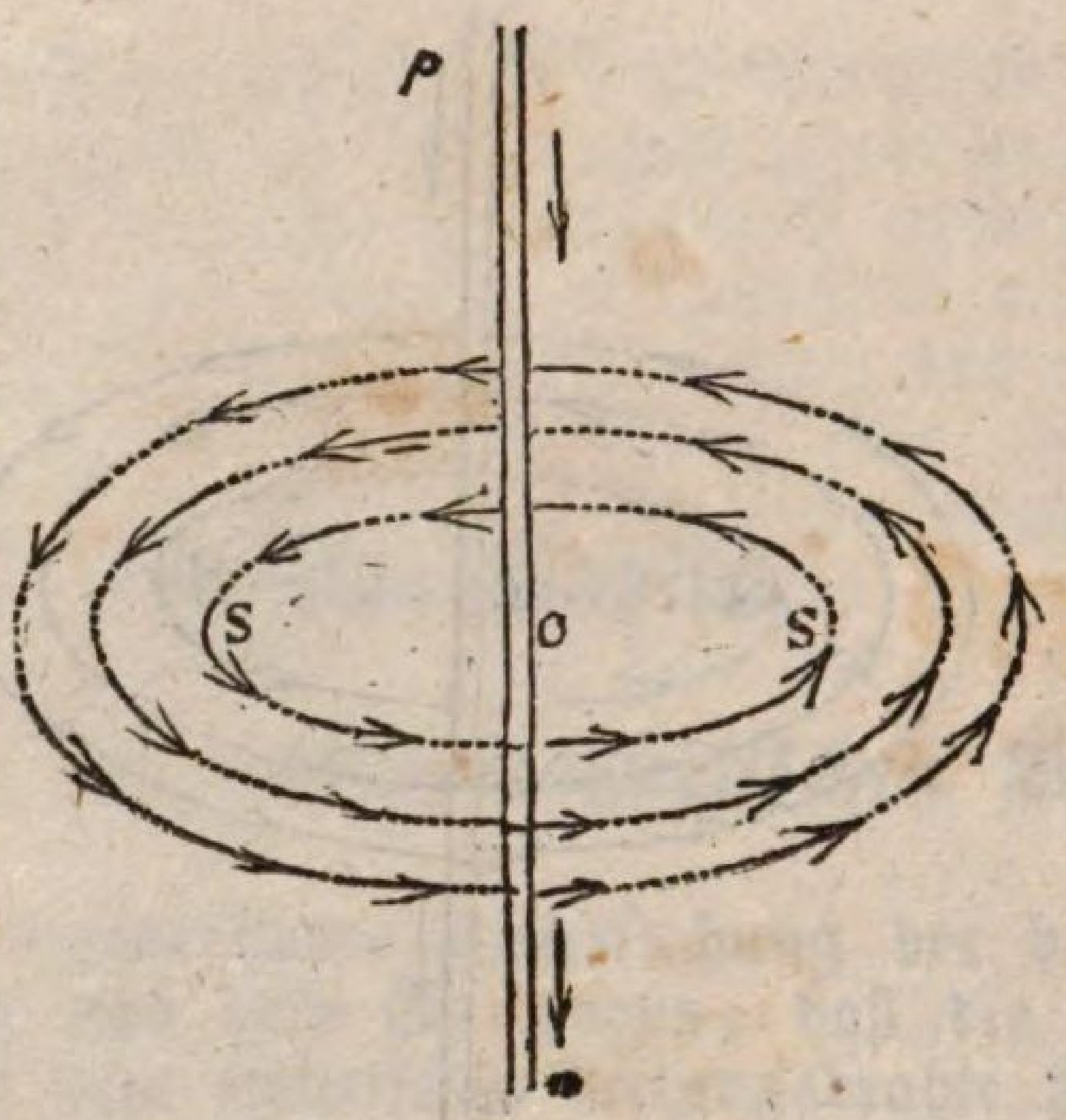


Fig. 8.

Stellung des Stromes umkehrt, wird die Wirkung ebenfalls umgekehrt.

24. Es ist klar, daß der Strom und die magnetischen Pole im Laufe der Versuche über Elektromagnetismus uns in einer großen Mannigfaltigkeit von Lagen dargeboten werden, und es ist gar nicht leicht, eine Erinnerung der Weise im Sinne zu behalten, worin die Kräfte nach der angegebenen Weise wirken. Ampère hat ein sinnreiches Verfahren ersonnen, wie wir uns diese Regel fester ins Gedächtniß heften, und dieselbe unter einer großen Mannigfaltigkeit von Umständen anwenden können. Die elektrischen Ströme werden nicht allein als positiv und negativ und in einer oder zwei Richtungen am Leitungsdrahte fließend gedacht, sondern man kann diese sich wirklich als Personen mit Kopf und Füßen, mit Gesicht und Rücken und rechter und linker Hand denken. Um diese Vorstellung auf beste Weise zu benützen und um in Bezug auf die verschiedenen Arten der Zustände die eine oder die andere der angegebenen Bezeichnungen zu wählen, wollen wir in jedem Falle diejenigen uns aussuchen, welche zu dem Vorzuge natürlich berechtigt scheinen; glücklicherweise trifft es sich, daß diese so gewählten Verbindungen mit der Natur übereinstimmen und deßhalb sehr gut geeignet sind, um den Zwecken einer Art künstlicher Erinnerungen zu entsprechen.

25. Erstlich ist es natürlich, daß wir unsere Aufmerksamkeit mehr auf den Strom positiver wie auf den negativer Elektrizität richten. Zweitens wird uns ein absteigender Strom leichter auf einen scheitelrechten Draht auffallen, wie ein aufsteigender, oder wenn wir uns von dem Strome getragen denken, so ist es weit natürlicher, daß wir uns vorstellen, wir bewegten uns mit den Füßen voran; wenn wir aber im Gegentheil uns ruhend denkend, so können wir uns den Strom vorstellen, als ginge er von unserem Kopfe zu den Füßen. Unser Gesicht würde natürlich nach dem magnetischen Pole gerichtet sein; wir werden vorzugsweise auf den Nordpol achten, und die Bewegung, womit wir am meisten vertraut sind, ist diejenige, welche wir mit der rechten Hand ausführen, z. B. beim Schreiben, d. h. von der Linken zur Rechten. Indem wir diese Bedingungen vereinigen, müssen wir bedenken, im Fall wir uns in der Richtung des Stromes liegend vorstellen, indem der Strom positiver Elektrizität durch den Kopf nach den Füßen fließt, und indem der Magnet vor uns liegt, daß der Nordpol dieses Magnetes nach unserer rechten Hand gerichtet ist. Wenn irgend einer dieser Zustände umgekehrt wird, so wird das Resultat gleichfalls umgekehrt.

26. Die Wirkung des Leitungsdrahtes auf den Pol eines Magnetes ist nothwendig von einer entsprechenden entgegengesetzten Wirkung des Magnetes auf den Draht begleitet. Wenn der Draht den Pol von der Linken zur Rechten treibt, so treibt der Pol den Draht von der Rechten zur Linken an und umgekehrt. So haben wir gesehen, daß ein positiver Strom, der an einem Draht hinabsteigt, wovon W Figur 9 A den Durchschnitt durch eine Horizontalfläche zeigt,

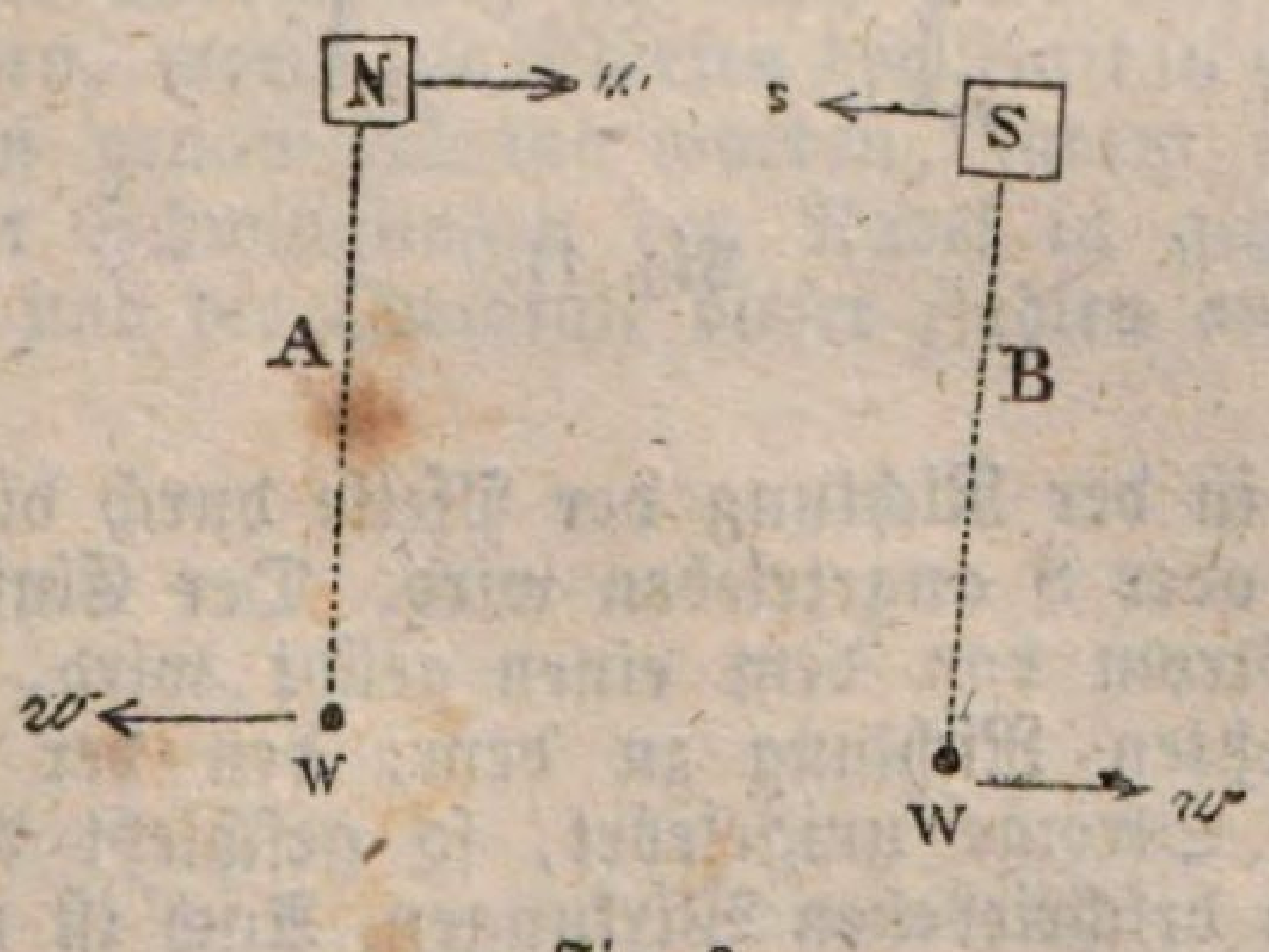


Fig. 9.

den Nordpol N rechts in die Richtung Nn treibt; der Draht aber selbst (Ww) wird links getrieben; die entgegengesetzte Wirkung findet statt zwischen dem Südpol S Figur 9 B, so daß, wenn jeder Pol des Magnetes fest und der Draht beweglich wäre, die Bewegung des letzteren wie in dem schon erwähnten Fall kreisförmig sein müßte und die antreibende Kraft eine tangentiale; dies zeigt Figur 10 und 11, wo pn, pn u. s. w. die aufeinanderfolgenden Stellungen des Drahtes

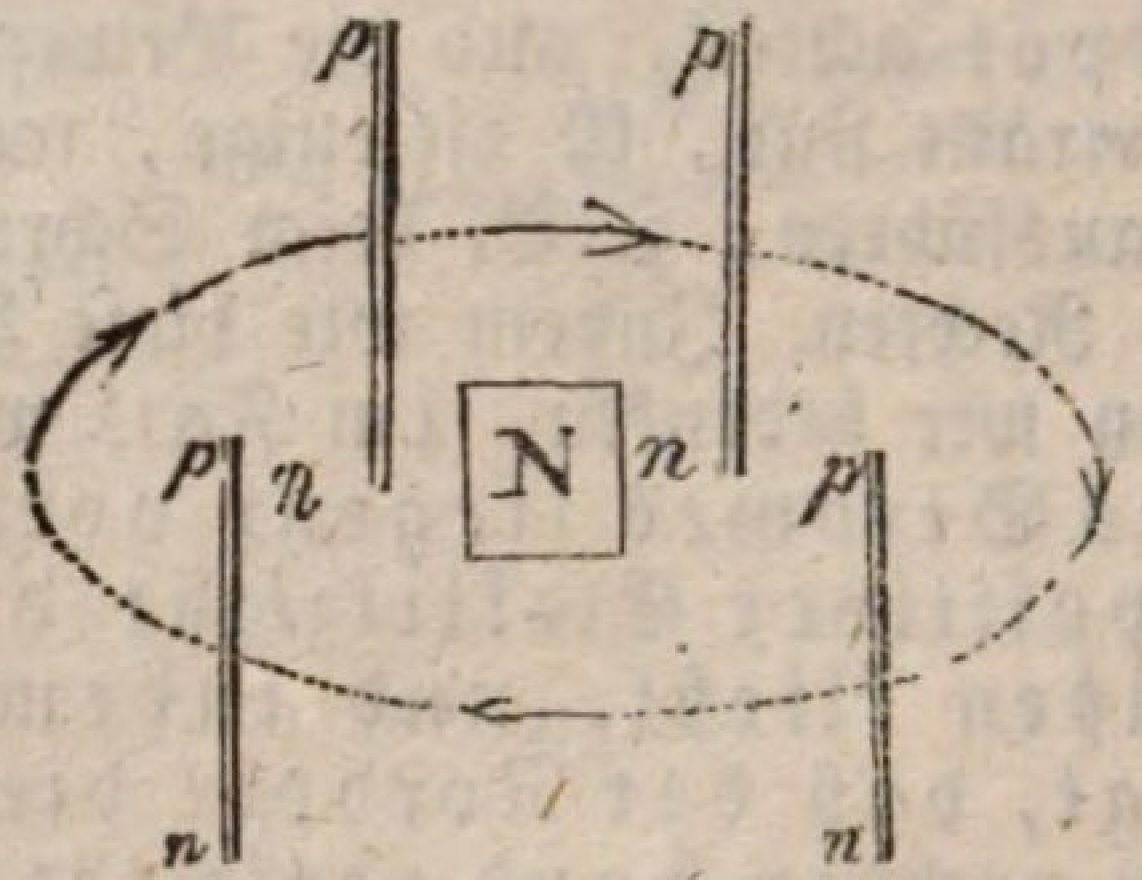


Fig. 10.

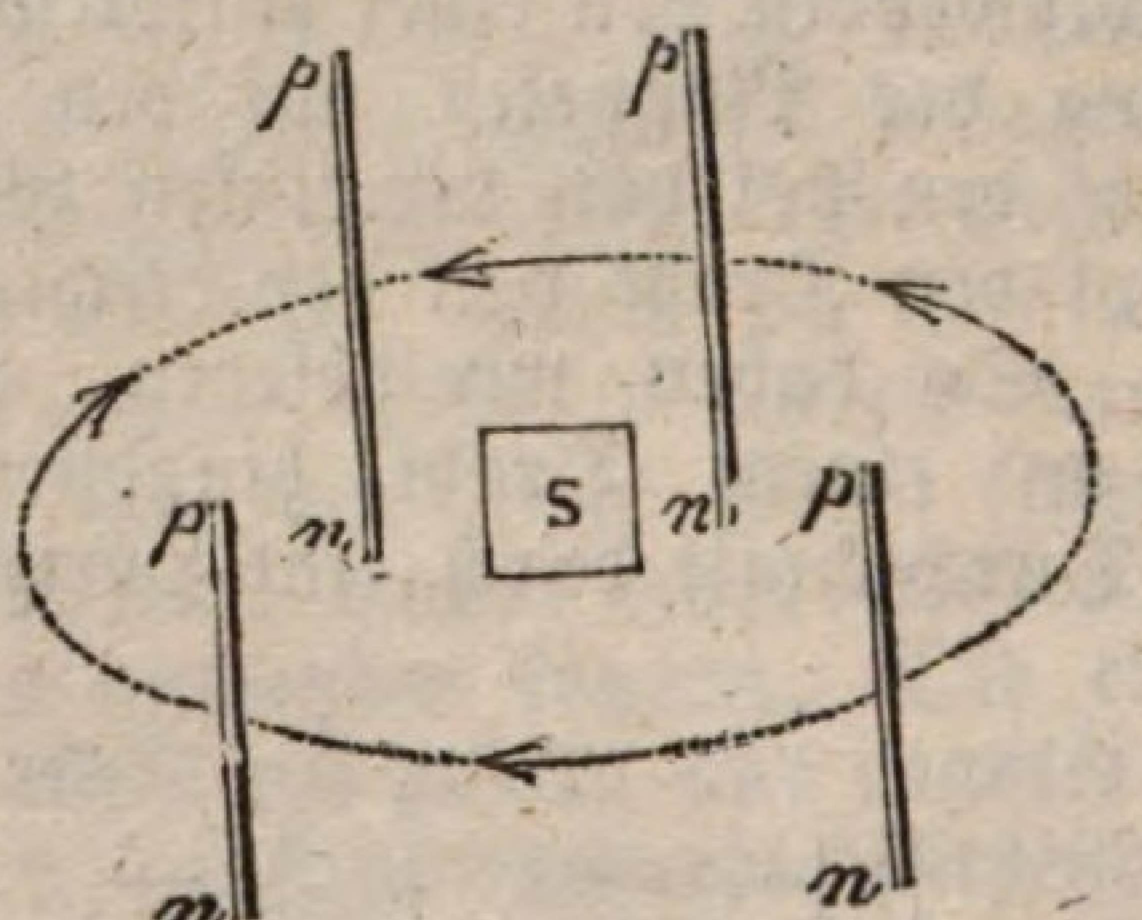


Fig. 11.

zeigen, der in der Richtung der Pfeile durch die Nord= und Südpole N oder S angetrieben wird. Der Einfluß, der auf denselben Strom von dem einen geübt wird, steht in der entgegengesetzten Richtung zu dem, den der andere übt. Werden die Ströme umgekehrt, so geschieht dies auch bei allen soeben beschriebenen Wirkungen. Auch ist zu bemerken, daß die Bewegung des Drahtes, von welcher Art auch seine

Stellung zum Magnet sein mag, immer parallel mit sich selbst geschieht, d. h. in der Richtung einer Linie, die zu demselben rechtwinklig ist.

27. Da die Richtung der elektrischen Kraft auf diese Weise bestimmt ist, haben wir zunächst das genaue Gesetz zu erforschen, nach welchem ihre Stärke im Verhältniß zur Entfernung der elektrischen Strömung von dem Punkte, auf welchen sie einwirkt, verschieden ist. Die vernünftigste Vermuthung, wie wir uns vor Erforschung durch Versuche hierüber bilden können, besteht darin, dies Gesetz sei dasselbe, wie dasjenige, welches im Fall der elektrischen und magnetischen Thätigkeit sich zeigt, nämlich die Kraft stehe überall in umgekehrtem Verhältniß zum Quadrat der Entfernung. Ist dies aber das wirkliche Gesetz der Thätigket, so muß es sich auch auf die Elementartheile der zwei thätigen Kräfte anwenden lassen, oder, um die bequemeren Ausdrücke der Theorie zu gebrauchen, es muß allein unter den Elementartheilchen der elektrischen und magnetischen Flüssigkeiten herrschen. In dem Magnet läßt sich die Wirkung der letzteren als an den Punkten conzentrirt denken, welche die Pole des Magnetes sind; in dem Leitungsdraht aber wirkt die hindurchgehende elektrische Flüssigkeit in gleichem Grade auf die ganze Linie ihrer Bewegung. Nun läßt es sich mathematisch beweisen, daß die Stärke der Thätigkeit, wenn die genannte Linie vollkommen gerade und ihre Länge im Verhältniß zu der Entfernung des Punktes, worauf sie einwirkt, ungemein groß ist, alsdann im umgekehrten Verhältniß nicht zum Quadrat, sondern zur einfachen Entfernung des Punktes wirkt, so daß z. B. die Kraft bei dreimaliger Entfernung $1/3$ ist, bei viermaliger Entfernung $1/4$ u. s. w. Die Uebereinstimmung dieses Gesetzes mit der Beobachtung ist durch Biot und Savart bewiesen worden, worin die Stärken der Kraft in verschiedenen Entfernungen genau erkannt wurden, indem jene Physiker die Zahl der Schwingungen der Nadel in gegebener Zeit beobachteten und die Quadrate dieser Zahlen aufnahmen.

Viertes Kapitel.

Direkte Folge des Gesetzes der elektro=magnetischen Wirkung.

28. Untersuchen wir jetzt die Folgen dieses Gesetzes. So verschieden ist die Wirkung der elektro=magnetischen Kraft von andern Naturkräften, womit wir vertraut sind, daß eine besondere Nachforschungsweise erheischt wird, damit wir der genauen Wirksamkeit unter jeder Vereinigung von Umständen auf die Spur kommen.

Es ist in den einfacheren Fällen, wo ein einziger magnetischer Pol der Thätigkeit eines Leitungsdrahtes unterworfen wird, nicht einmal leicht, über die genaue Bewegung, welche erfolgen wird, bestimmt zu urtheilen, besonders wenn die Bewegung des magnetischen Körpers auf eine befestigte Ebene und auf bloße Umdrehung beschränkt ist; die Schwierigkeit aber wird gesteigert, wenn die Nachforschung dadurch verwickelt wird, daß sie die vereinigten Wirkungen mehrer Pole verschiedener Arten umschließt. Die einzige Art, klare Ansichten über den Gegenstand zu erhalten, besteht darin, daß man die verschiedenen Fälle in ihrer Ordnung der Einfachheit untersucht, mit einer jeden einfach genommenen Kraft anfängt und hernach die verschiedenen Verbindungen erforscht.

Wirkungen auf die Richtungseigenschaft einer Magnetnadel.

29. Beschränken wir unsere Aufmerksamkeit gegenwärtig auf einen einzigen magnetischen Pol, z. B. den Nordpol, so haben wir die Wirkungen zu untersuchen, welche darauf durch einen Leitungsdraht unbestimmter Länge erzeugt werden, der mit einer Tangentialkraft darauf einwirkt, welche in umgekehrtem Verhältniß zu seiner Entfernung steht, wenn die Bewegungen dieses Drahtes auf den Umfang eines Kreises in gegebener Fläche senkrecht zu dem Drahte beschränkt sind. Der Fall in Betrachtung läßt sich dadurch erläutern, daß

man einen Magnet SN (Fig. 12) auf eine flache Stütze AB stellt, die in der Mitte auf dem Zapfen P ruht und auf dem entgegengesetzten Ende durch ein Gegengewicht in der Schwebe gehalten wird, so daß der Südpol des Magnetes S genau über dem Mittelpunkt der Bewegung liegt.

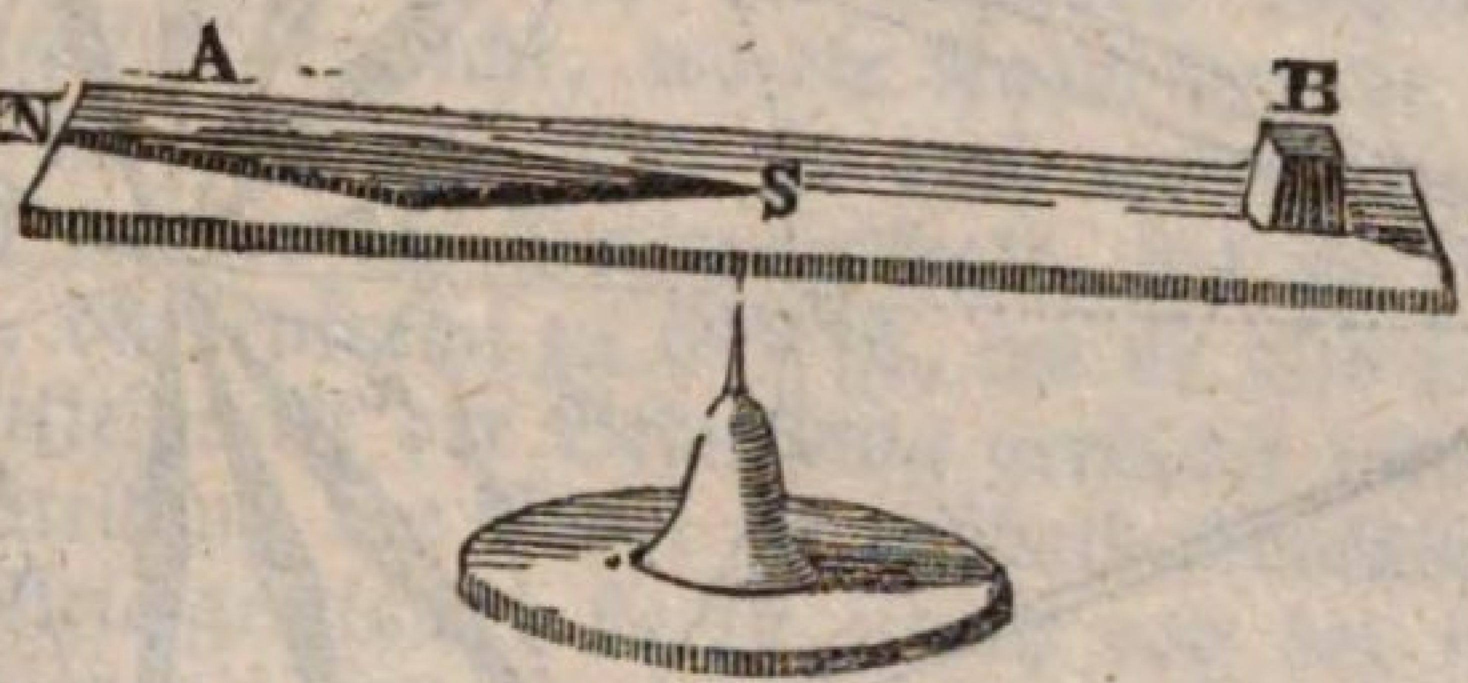


Fig. 12.

In dieser Lage kann die Wirkung eines elektrischen Stromes auf den Pol S keinen Einfluß auf Umdrehung der Stange AB in irgend einer besondern Richtung haben; die Bewegung der Stange wird allein durch die Wirkung des Stromes auf den Nordpol N bedingt.

30. ABCDMNO (Fig. 13) zeigt den horizontalen Kreis, in welchem sich die Nadel NS dreht, indem S der Mittelpunkt der Umdrehung ist; W sei der Durchschnitt des Leitungsdrahtes, welcher auf die Nadel einwirkt und auf welchem der positive elektrische Strom absteigt.

In jeder Stellung der Nadel nimmt die auf den Pol im Umfang des Kreises wirkende Tangentialkraft die Richtung einer Linie zur rechten Hand an, welche senkrecht zu derjenigen steht, welche Pole und Draht verbindet. Bei D z. B. hat sie die Richtung der Linie Dd, die senkrecht auf DW steht. Ihre Neigung, Drehung in der Nadel zu erzeugen, indem sie dieselbe um S dreht, wird im Verhältniß zum Cosinus des Winkels zwischen WD und dem Radius DS stehen, oder sie läßt sich durch die Linie Sd darstellen, die parallel mit WD gezogen ist, und welche der Senkrechten Dd begegnet, zu der sie natürlich ebenfalls senkrecht steht. Man wird nämlich sehr leicht erkennen, daß die Drehungswirkung der von uns betrachteten Kraft dieselbe ist, ob wir sie auf die Nadel bei D oder bei d auf dem Arm des Hebels Sd anwenden, der mit der Nadel verbunden ist. Die Nadel wird dadurch nach V angetrieben; da nun die Länge des Hebels,

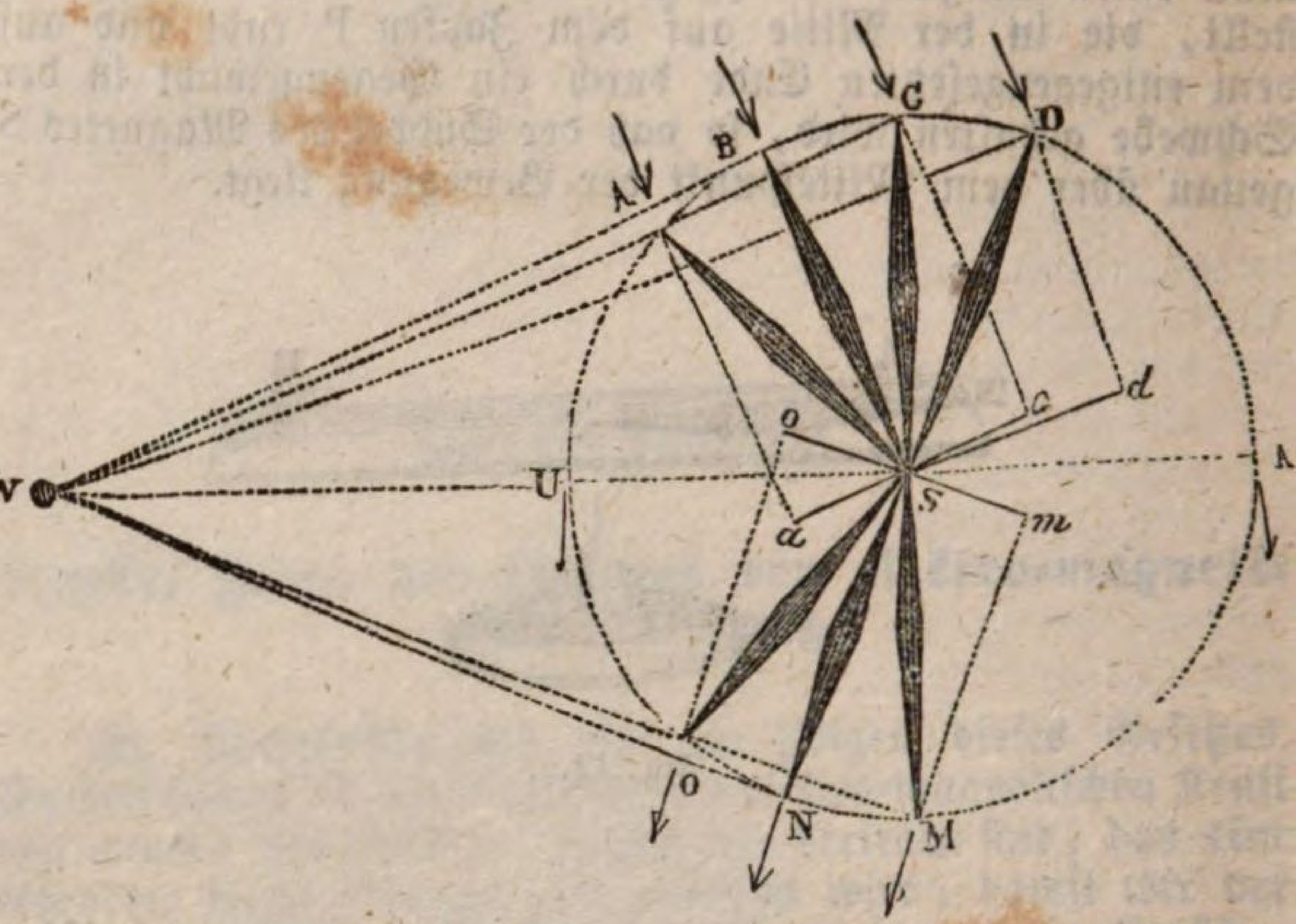


Fig. 13.

wodurch sie wirkt, sich fortwährend steigert, bis sie diesen Punkt erreicht, so wird auch die Umdrehungskraft sich steigern; kömmt sie zu M, so ist ihr Maß S m, kömmt sie zu N, wo die Stellung der Nadel N S in rechtem Winkel zu N W steht, so ist sie gleich Null. Dies also ist die Stellung des Gleichgewichts, und das Gleichgewicht wird bleibend sein; stört man nämlich die Lage der Nadel, indem man sie nach O treibt, so wirkt die Drehungskraft in dieser neuen Stellung dahin, sie durch den Hebel S o nach der entgegengesetzten Seite S m zu treiben, und strebt deßhalb dahin, ihr eine Umdrehung in der entgegengesetzten Richtung zu ertheilen, d. h. den Pol der Nadel nach N zurückzubringen. Nach wenigen Schwingungen wird die Nadel deßhalb sich zuletzt in der Richtung S N feststellen.

31. Wenn die Schwingungsbögen klein sind, so stehen die Kräfte, welche dahin streben, die Nadel in ihren Ruhepunkt zu bringen, in sehr nahem Verhältniß zu den Bögen selbst, so daß ihre Bewegungen in dieser Hinsicht nach demselben Gesetz wie die des Pendels regiert werden. Somit bieten sie ein sehr genaues Mittel, die verhältnißmäßige Stärke der elektro-magnetischen Kräfte, welche auf dieselbe Nadel unter verschiedenen Umständen der Entfernung vom Drahte einwir-

ken, oder die der Stärke des elektrischen Stromes zu bestimmen, denn die Stärke wird immer zum Quadrat der Zahl der Schwingungen stehen, welche die Nadel in einer gegebenen Zeit ausführt (Darstellung des Magnetismus §. 320).

32. Wird die Nadel noch weiter zum Draht hin gewandt, so steigert sich die Kraft, welche sie zur Stellung der Ruhe zurückzuführen strebt, bis sie ihren höchsten Punkt in der Stellung S U erreicht, wo die Nadel gerade zum Drahte hingerichtet ist. Bringt man sie noch weiter links, so vermindert sich wieder die Drehungskraft, bis sie zur Stellung BS gelangt, die senkrecht zu BW ist, wo sie also wieder in den genauen Mittelpunkt der Bewegung gerichtet und gleich Null ist. Diese Stellung der Nadel ist deßhalb ebenfalls eine Stellung des Gleichgewichts; sie ist jedoch von der früheren dadurch verschieden, daß sie allein ein unstetes Gleichgewicht bildet; ist nämlich die Nadel etwas aus der Stellung auf irgend einer Seite gestört, so erlangt sie eine Neigung, in der Richtung weiter zu gehen, und wird sich von dem Punkt B hinwegbewegen. Bei A z. B. wirkt die Drehungskraft durch den Hebel S a, treibt nach U und setzt sie zuletzt in N fest; bei C wird die Nadel nach D durch eine ähnliche Kraft S c getrieben und diese gesteigert, treibt sie nach V und bringt sie zuletzt nach N herum.

33. Hier mag bemerkt werden, daß die Umdrehungen der Nadel in diesen zwei Theilen des Umfangs in entgegengesetzten Richtungen geschehen, denn in dem entfernteren Theile B V N ist die Bewegung denen der Uhrweiser ähnlich; in dem nahen Theile B U N geschieht sie in entgegengesetzter Richtung. Die Linien W B und W N, die von W nach den Punkten gezogen sind, wo die Nadel im Gleichgewicht ruht, und welche im rechten Winkel zu den Radien B S und N S stehen, sind Tangenten des Kreises bei B und N, und der Umfang ist durch diese Punkte in zwei ungleiche Theile gesondert, so daß die Nadel, wenn sie von B nach N durch die Wirkung der von W ausgehenden Tangentialkraft geht, welche die Pfeile der Figur anzeigen, einen längeren Raum zu durchlaufen hat, wenn sie sich im entfernten, wie wenn sie sich im näheren Theile des Kreises bewegt. Das Mißverhältniß zwischen diesen beiden Bogen steigert sich fortwährend, sowie der Draht dem Kreis genähert wird. In sehr großer Nähe, wie in Fig. 14, ist der Bogen B U N sehr klein im Vergleich mit B V N; wird aber die Nadel noch so wenig an die andere Seite von B gestellt, so wird sie sogleich von dem Punkt zurückgehen, als werde sie vom Drahte abgestoßen, und wird den größeren Theil des Kreises beschreiben, um nach N zu gelangen, eine

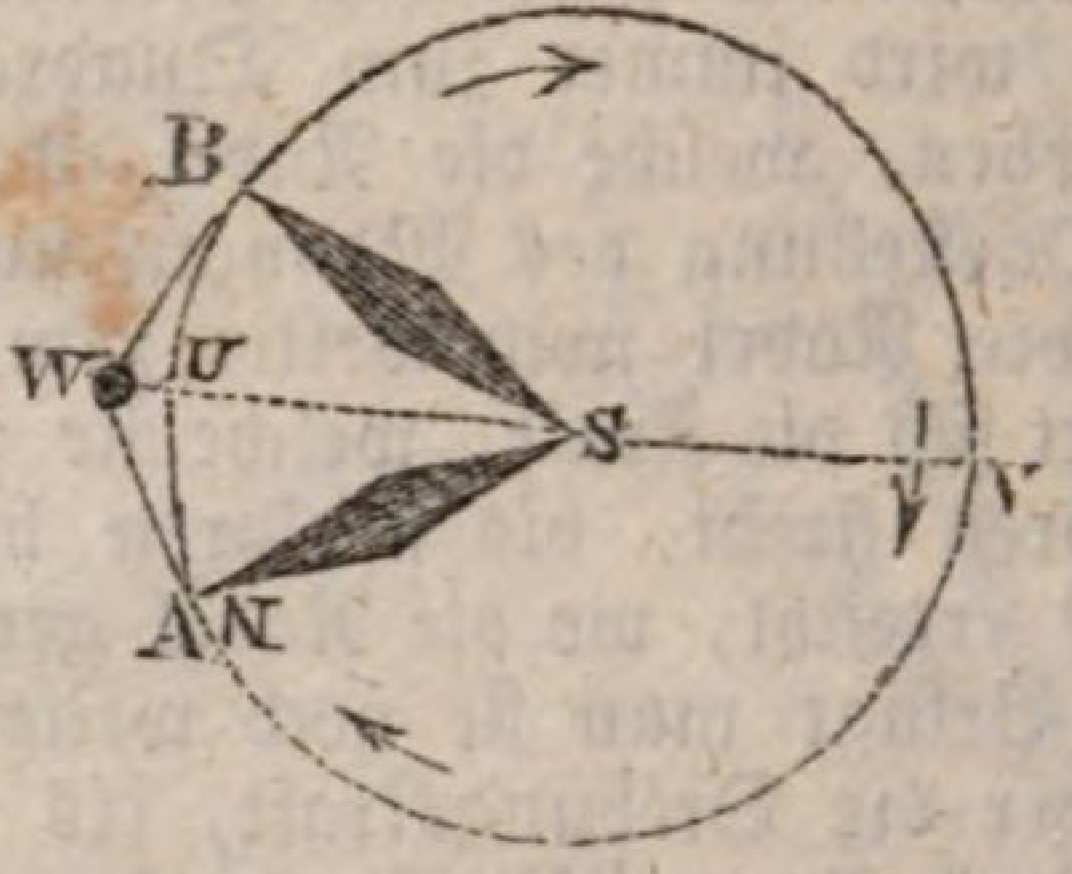


Fig. 14.

Stellung, die sie durch einen viel kürzeren Lauf hätte erlangen können, wenn sie den Bogen BUN beschrieben hätte.

34. Der Vorzug, welchen die Nadel für den Umweg dadurch äußerte, während sie eine weit kürzere, zu ihrer Bestimmung führende Linie einschlagen konnte, schien Denjenigen sehr auffallend, welche den Umstand zuerst bemerkten, allein die Erklärung, die wir gegeben haben, zeigt deutlich, es sei allein das Resultat eines besonderen Gesetzes der elektromagnetischen Kraft, welche durch die Tangentialrichtung ihrer Wirksamkeit charakteristisch ist.

35. Denkt man sich, der Draht gehe durch den Umfang selbst hindurch wie in Fig. 15, so ist der Theil des Umfangs BN, der zwischen den beiden Tangenten begriffen war, und in welchem die Nadel zu einer Drehung angetrieben wurde, welche der Drehung im übrigen Kreise entgegengesetzt war, jetzt auf einen bloßen Punkt vermindert und die Nadel, wenn sie auch noch so wenig links von dem Punkt gesetzt ist, wird sich um den ganzen Kreis bewegen; wenn sie auf diesen Punkt kömmt, so kann man kaum sagen, sie setze sich dort

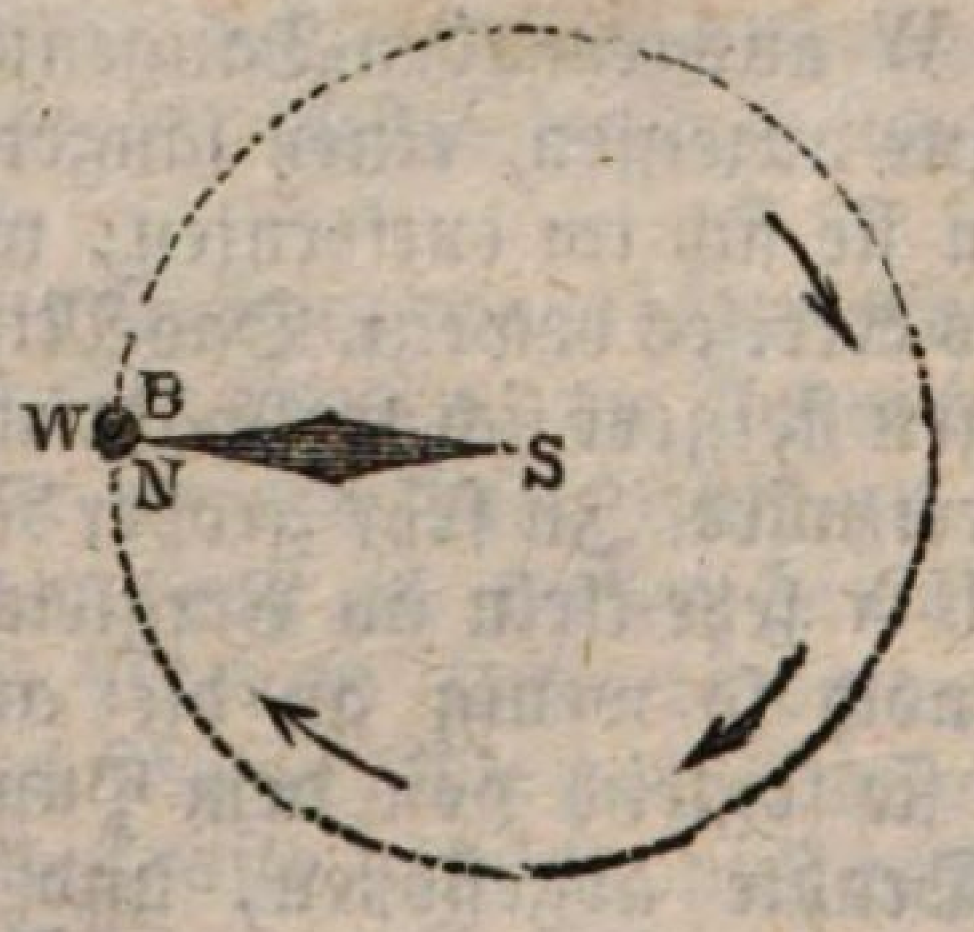


Fig. 15.

fest, denn die geringste Bewegung in derselben Richtung wird sie wieder unter denselben Antrieb bringen, der sie deßhalb zum zweitenmal herumführen wird; das Moment, das sie in dieser Bewegung erlangt hat; wird genügend sein, sie über den Neutralpunkt hinauszuführen und sie in einem Zustande fortwährenden Umdrehung zu erhalten. Liegt der Draht wirklich in dem Kreise wie in Fig. 16, so wird die Drehungskraft in derselben Richtung in jedem Theile des Kreises bleibend dieselbe sein, und es muß sich die Nadel in derselben fortwährenden Richtung bleibend umdrehen. Es ist jedoch klar, daß die Umstände, unter welchen ein Versuch dieser Art gemacht werden kann, dies niemals gestatten; der Draht, als fester Stoff, welcher senkrecht durch die Fläche des Kreises geht, muß nothwendig die Bewegung der Nadel aufhalten, sobald er mit derselben in Berührung kommt. Die einzige Stellung, welche die Nadel deßhalb einnehmen kann, ist diejenige, worin sie an dem Drahte ruht, wie Fig. 16 zeigt. In einem andern Theil des Kreises wird sie sich in der Richtung der Pfeile bewegen.

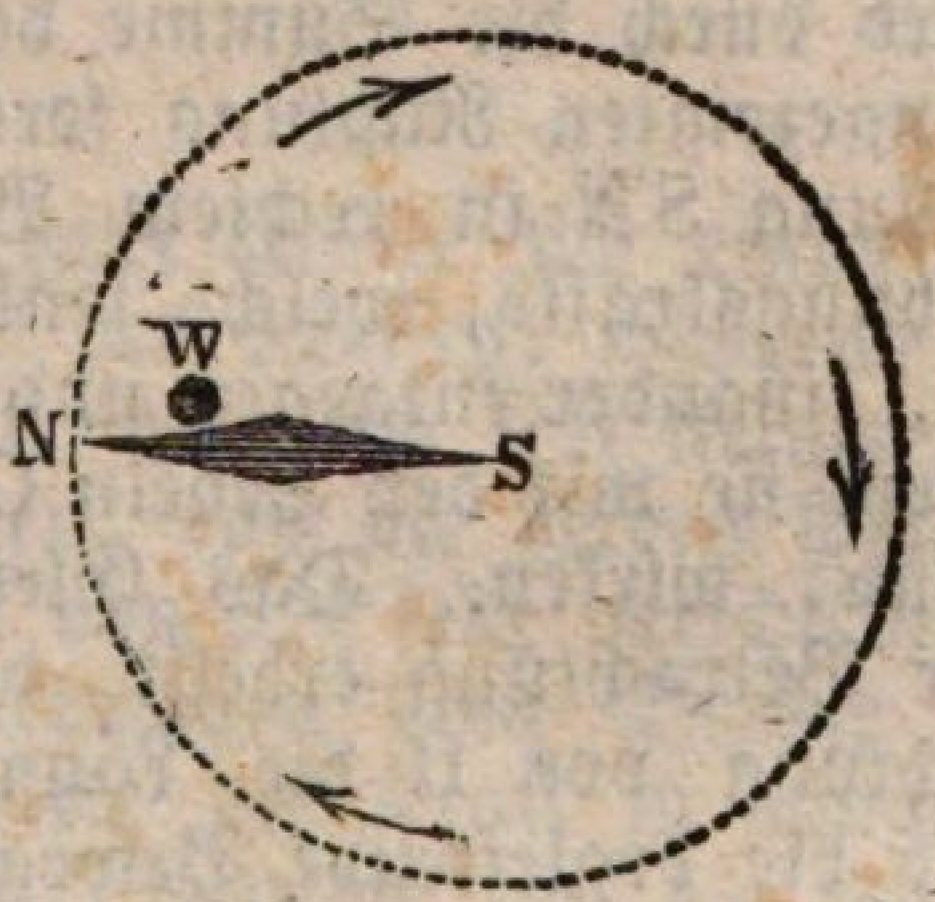


Fig. 16.

36. Nachdem wir so die Wirkung des elektrischen Stromes auf einen einzigen Pol untersucht haben, sind wir zur Betrachtung seiner verbundenen Wirksamkeit auf zwei entgegengesetzte Pole einer Magnetnadel vorbereitet, die auf ihrem Mittelpunkt im Gleichgewicht schwebt. In dem Fall äußert der Strom, der durch den Draht W (Fig. 17) hinabsteigt, eine entgegengesetzte Wirkung auf die zwei Pole der Nadel N und S. Findet sich die Nadel in der Lage PQ, d. h. in derselben Linie mit W, so wirken diese zwei entgegengesetzten Kräfte, indem sie in rechten Winkeln zum

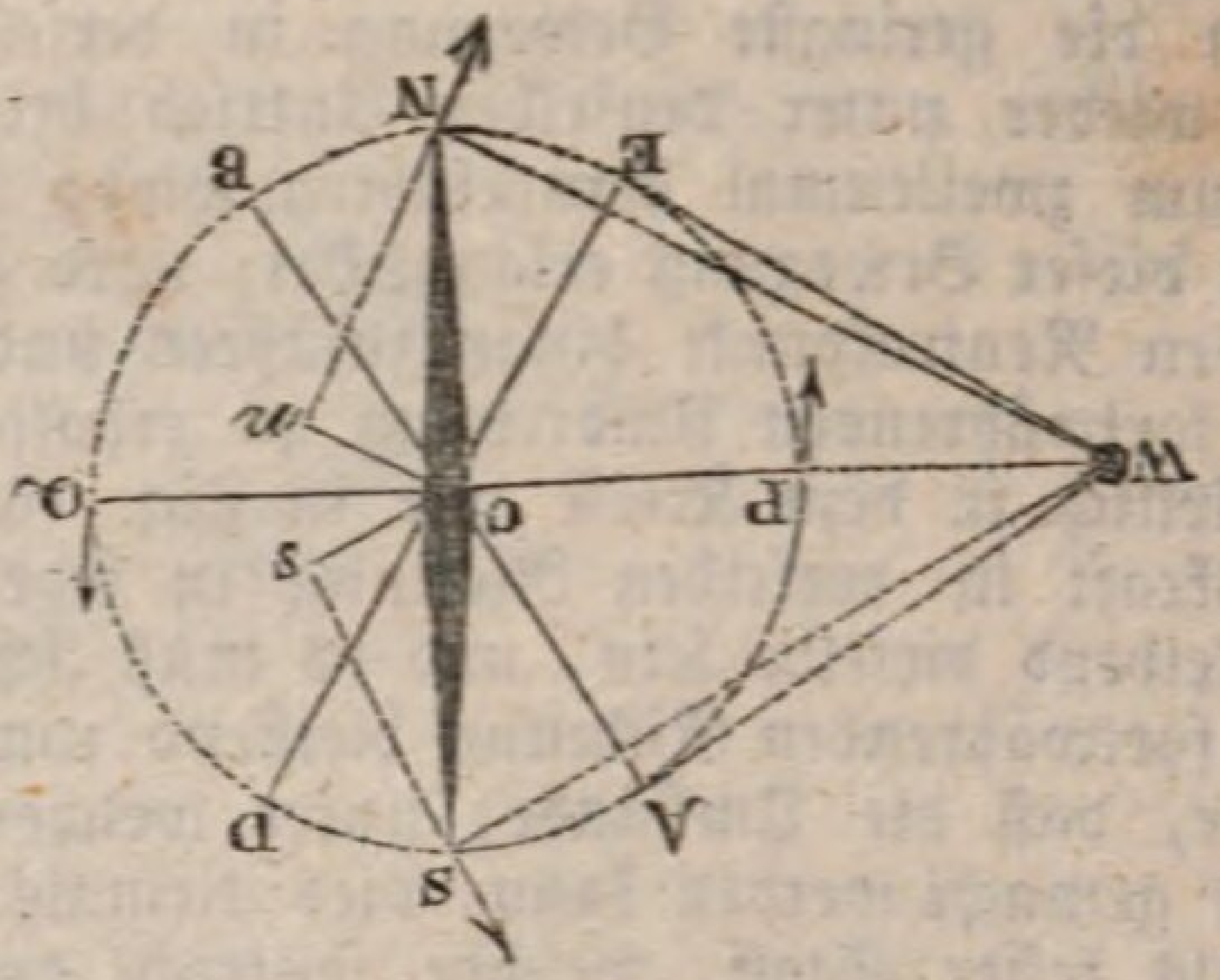


Fig. 17.

Radius und auf entgegengesetzten Seiten vom Mittelpunkt ihren Einfluß äußern, in ihrer Drehungswirkung zusammen und die Nadel wird durch die Summe dieser Kräfte in der von den Pfeilen angezeigten Richtung fortgetrieben. Ist die Nadel in der Stellung SN in rechtem Winkel zu WC, so setzen sich die Drehungskräfte, welche senkrecht auf WS und WN gerichtet sind, einander entgegen und stehen in genauem Gleichgewicht, indem sie mit den Hebeln Cs und Cn, welche an Länge gleich sind, wirken. Das Gleichgewicht ist bleibend, wie aus der Betrachtung erhellt, daß die Verrückung von S in der Richtung von D die Länge des Hebels Cs vermehrt, während die begleitende Bewegung von N nach E die Länge von Cn vermindert. Die durch ersteres dargestellte Kraft wird deßhalb über die durch letzteres dargestellte überwiegen und den Pol S zu seiner früheren Stellung zurückführen. Dasselbe würde sich ereignen, geschähe die Verrückung auf der andern Seite von S, denn in dem Fall würde die Kraft, welche den Pol N antreibt, den Vortheil über diejenige voraus haben, welche am Pol S wirkt, und würde die Nadel in ihre Stellung der Ruhe SN zurückführen. Dieser Gegensatz der Kräfte findet sich, wenn die Nadel irgendwo zwischen den Linien AB und DE liegt, welche senkrecht zu den Tangenten des Kreises WA und WE sind, denn in beiden dieser Lagen AB oder DE ist die Drehungskraft in jedem der Pole, wie wir §. 30 gesehen haben, gleich Null. Außer diesen Lagen wechselt die Drehungs=

kraft ihre Richtung, so daß die auf die zwei Pole in jedem Theile der Bogen APE und DQB Einfluß übenden Kräfte zu Hervorbringung einer ähnlichen Ausführung die Umdrehung zusammenwirken.

37. Im Verhältniß wie der Draht W (Fig. 18) der Nadel mehr genähert wird, bilden die Bogen ASD und

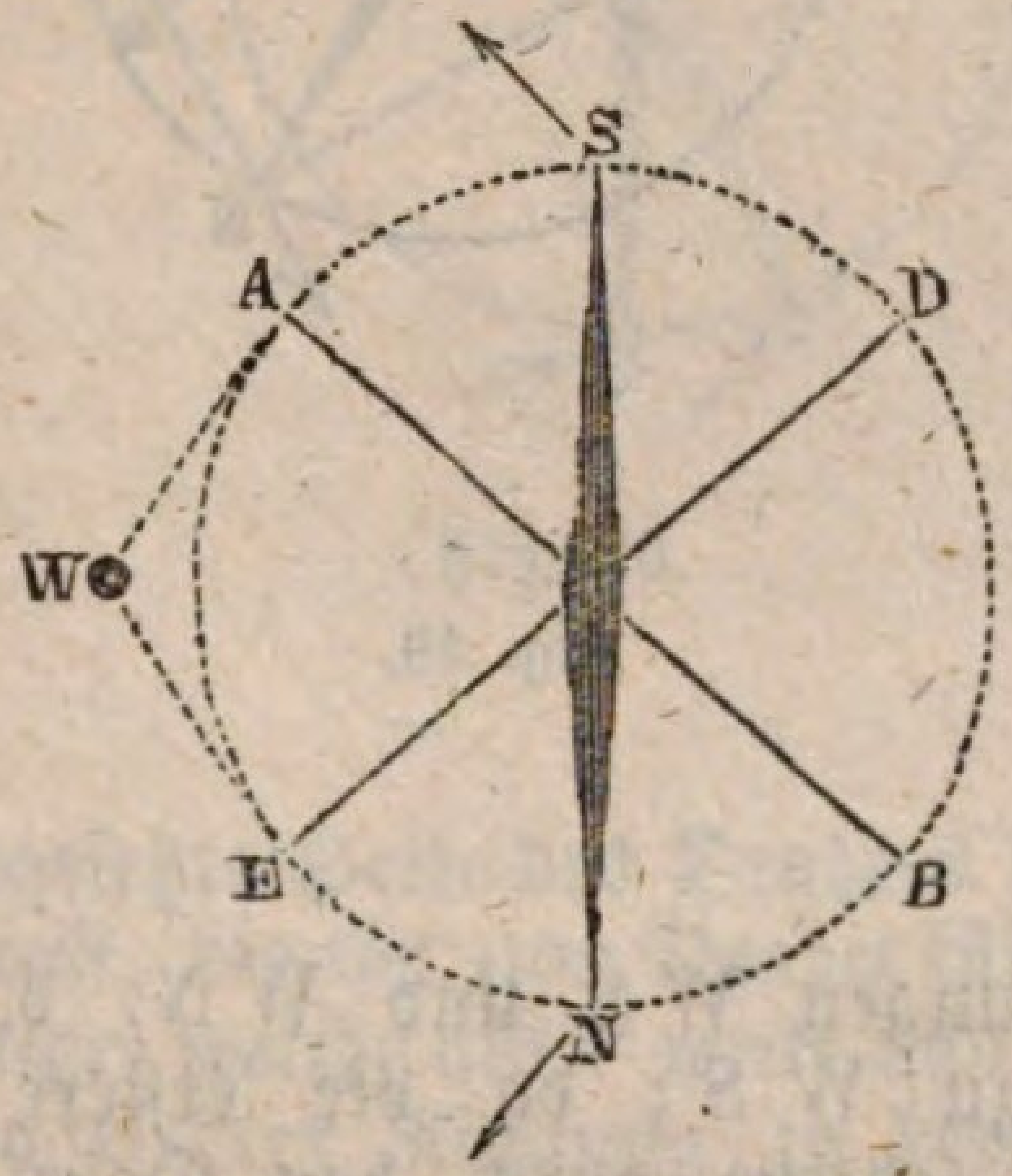


Fig. 18.

ENB, worin die zwei Kräfte sich einander entgegensetzen, einen größern Theil des Kreises, während diejenigen, worin sie zusammenwirken, AE und DB kleiner werden. Hier ist also auch zu beachten, daß die beiden Pole N und S, wenn die Lage der Nadel von SN sehr verschieden ist, sich in sehr verschiedenen Entfernungen vom Drahte befinden werden; hiebei steht die Stärke der Kraft in umgekehrtem Verhältniß zur Entfernung, und die auf die zwei Pole wirkenden Kräfte werden folglich wesentlich verschieden sein. Wirken die Kräfte in der Umdrehung zusammen, so erleidet das Resultat keinen Einfluß durch diesen Unterschied; setzen sie sich aber einander entgegen, so wird die Vermehrung der Kraft am näheren Pol stark dahin wirken, die größere Schrägheit ihrer Richtung auszugleichen und wird sie der Gleichheit mit der kleineren Kraft mehr nähern, welche mit größerem mechanischen Vortheil auf den entferntern Pol einwirkt. Diese Gleichheit wird wirklich erreicht, wenn der Draht durch den Umfang des Kreises hindurchgeht, denn jetzt verhält sich die auf S (Fig. 19) in der Richtung RS wirkende Kraft zu der auf N in der Richtung RN wirkenden Kraft umgekehrt

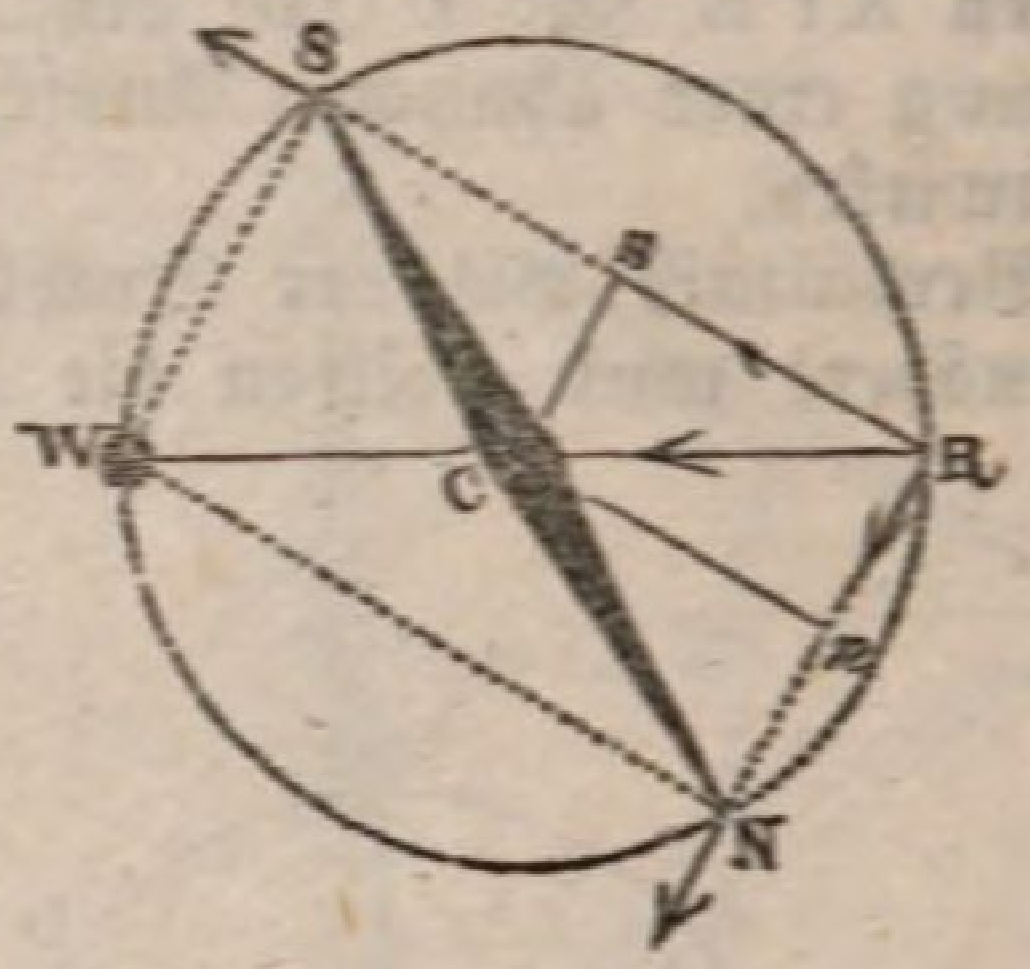


Fig. 19.

wie die Entfernungen W S und W N, d. h. sie verhalten sich wie W N zu W S; da die erstere aber durch den Hebel C s, die letztere durch den Hebel C n wirkt, die selbst im Verhältniß zu W S und W N stehen, so müssen sie nach dem Gesetz der Statik sich genau im Gleichgewicht halten. Um die Sache von einem andern Gesichtspunkte aus zu betrachten, erzeugen die Kräfte R S und R N, wenn sie zusammen vereinigt werden, als Resultante R W, welche, da sie zum Mittelpunkt der Bewegung C gerichtet ist, keine Neigung zur Erzeugung einer Drehung haben kann. Daraus folgt, daß die Nadel, von welcher Art auch ihre Stellung im Umfang sein mag, durchaus keinen Einfluß vom Draht erleidet, wenn der Draht sich im Kreise Fig. 20 befindet. Jetzt wird man finden, daß die beiden Kräfte in keiner Stellung der Nadel auf Erzeugung derselben drehenden Kraft zusammenwirken, und daß sie sich in jedem Theile des Kreises einander entgegensetzen. Die einzige Stellung, worin das Gleichgewicht bleibend ist, ist die von NS, wo der Nordpol und der Südpol rechts vom Draht liegt, eine Stellung, welche, wie man beachten muß, genau die umgekehrte derjenigen ist, welche die Nadel annimmt, wenn der Draht sich außerhalb des Kreises wie in Fig. 17 und 18 befindet; wird sie aus dieser Lage gestört und nach n′ s′ z. B. gebracht, so wird der Pol n′, der dem Draht am nächsten liegt, wirksamer wie derjenige, welcher auf den entfernten Pol s′ wirkt, und bringt deßhalb die Nadel zu ihrer Stellung zurück. Wird aber der Pol N

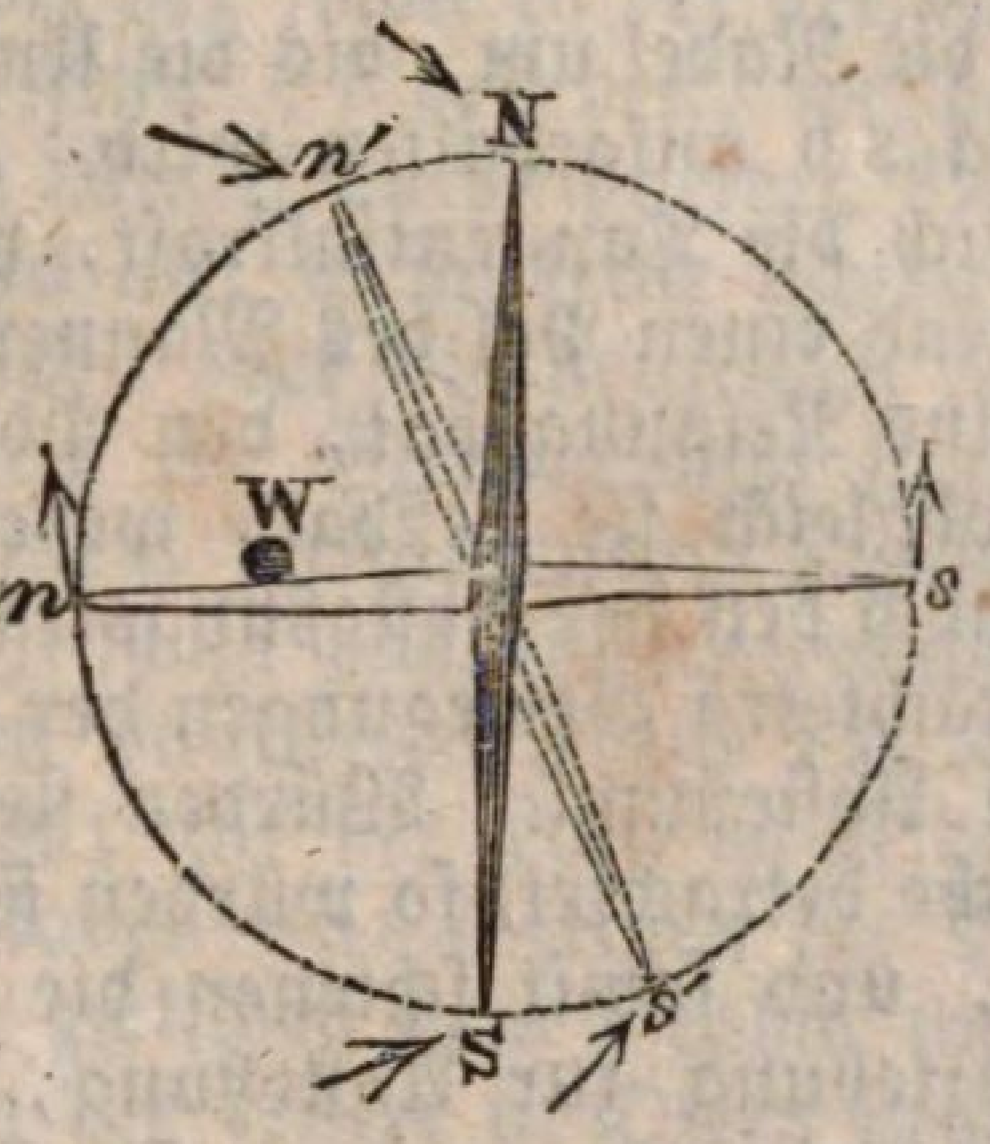


Fig. 20.

auf die entgegengesetzte Seite des Drahtes bei n' gesetzt, so ist die Tangentialkraft, die ihn zum Drahte führt, auch hier wirksamer wie diejenige, welche auf s' wirkt und welche dahin strebt, ihn in entgegengesetzter Richtung zu bewegen. Die Nadel schlägt deßhalb gegen den Draht und bleibt damit in fortwährender Berührung, da sie nicht darüber hinaus kann. Wird jedoch die Nadel noch weiter vom Draht entfernt, so wird die Ueberlegenheit dieser Kraft sich fortwährend vermindern und gänzlich aufhören, wenn die Nadel sich in der Stellung S N (Fig. 21) befindet, wo die zwei Pole S und N gleiche Entfernung von W haben. Hier ist wieder ein Gleichgewicht, jedoch ein unstetes, denn sobald N weiter von dem Drahte

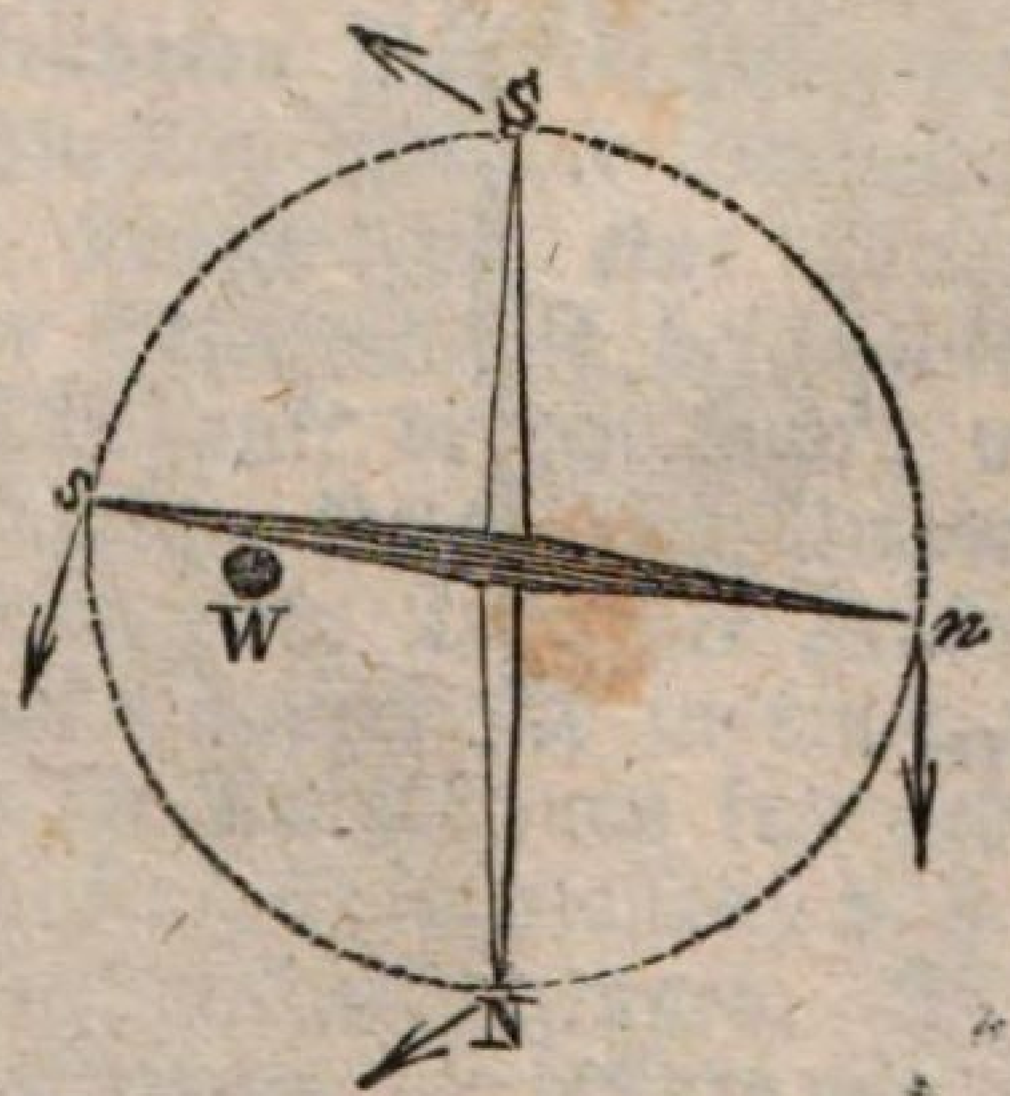


Fig. 21.

entfernt wird, gewinnt die auf S wirkende Kraft den Vortheil und dreht die Nadel um, bis die Umdrehung vom Draht in der Stellung s n aufgehalten wird.

39. Obgleich die Tangentialkraft, welche ein elektrischer Strom auf irgend einen Pol des Magneten äußert im eigentlichen Sinne keine Neigung hat, den Pol näher oder fortzubringen, und obgleich sie deßhalb weder den Charakter der Anziehungs-, noch den der Abstoßungskraft besitzt, so gleichen dennoch die betrachteten Bewegungen der Nadel oft denen der Anziehung und Abstoßung. Würden sie mit Beziehung auf eine solche Ursache betrachtet, so würden sie ungemein unregelmäßig scheinen, und somit schienen die plötzlichen Veränderungen von Anziehung zur Anstoßung, wie solche bei den leichtesten Veränderungen in den Stellungen des Drahtes und der Nadel statthaben, den Entdeckern launenhaft und unerklärlich.

40. Um diese Uebergänge vollkommen zu verstehen, ordnen wir die Resultate der vorhergegangenen Nachforschung, wie sie sich auf irgend eine gegebene Stellung der Nadel SN Fig. 22 beziehen, indem wir allein die Stellung des Drahtes wechseln. Wir werden alsdann finden, daß die Linien, welche die Grenze zwischen den Stellungen der scheinbaren Anziehung und Abstoßung bilden, in dem Umfang des Kreises, dessen

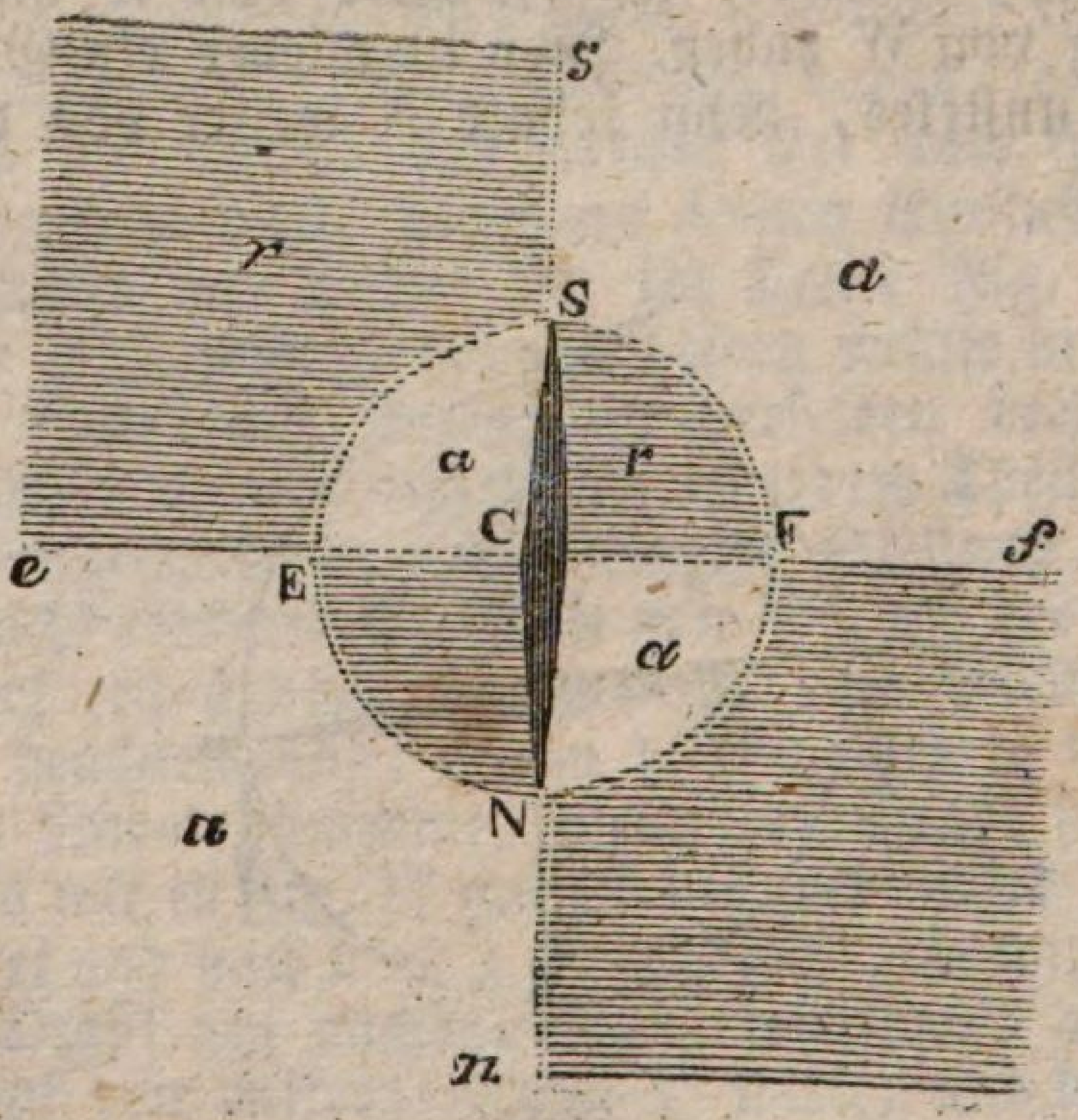


Fig. 22.

Durchmesser die Nadel ist, sowie in der verlängerten Achse n s und in einer andern Linie e f bestehen, welche dieselbe in der Mitte und im rechten Winkel durchschneidet. Der Umfang zeigt die Lagen des Drahtes an, wenn keine sichtbare Wirkung auf die Nadel erzeugt wird, oder die neutralen Lagen. Die Linie e f ist diejenige, worin ein Gleichgewicht stattfindet. Ist der Draht auf irgend einem fortlaufenden Theile der Linie e f, nämlich CF und Ee, so ist das Gleichgewicht bleibend; befindet er sich auf dem punktirten Theile EC oder Ff derselben Linie, so ist es unstät; auf der Linie sn ist die Wirkung am größten. Die Buchstaben a a a a zeigen die Räume wo eine scheinbare Anziehung zwischen dem Drahte und dem nächsten Pol stattfindet, wenn der erstere in Orten liegt, welche durch die obigen Linien begrenzt sind; r r r r sind die Räume, wo scheinbare Abstoßung stattfindet. Diese letzteren Räume sind der Deutlichkeit wegen schattirt. So findet sich im Viertelskreis SCE eine scheinbare Anziehung zum Pole S; in dem schattirten Viertelskreis SCF findet sich eine scheinbare Abstoßung dieses Poles; in dem schattirten Quadranten ECN bewegt sich der Pol N vom Drahte weg, in NCF nach demselben hin. In den Räumen außerhalb des Kreises sind die Wirkungen genau das Gegentheil der im Innern desselben; in dem schattirten Raum, der durch die Linien sS, Ee begrenzt ist, sowie im Umfange ist die Wirkung auf S scheinbar abstoßend; in dem weißen Raum auf der andern Seite von S, der durch die Linien Ss, Ff begrenzt ist und auf dem Umfange ist sie anziehend, und das Gegentheil findet statt in Bezug auf die Räume auf der andern Seite von ef.

§. 2. Bewegung der Magnetnadel im freien Raum.

41. In der früheren Nachforschung wurde unsere Aufmerksamkeit ausschließlich auf die Darstellung der Wirkung elektromagnetischer Kräfte auf eine Magnetnadel gerichtet, welche in ihrer Bewegung so beschränkt ist, daß sie sich allein um den Mittelpunkt drehen kann; wir hatten allein die Kräfte zu betrachten, welche eine Umdrehung der Nadel zu erzeugen strebten. Ein Theil der Kräfte jedoch, welche auf die Pole wirkten, äußert sich in einer andern Richtung und würde, könnte die Nadel ihnen frei gehorchen, die Verrückung der ganzen Nadel veranlassen, d. h. sie würden eine Bewegung des Mittelpunktes erzeugen. Ist die Nadel durch ihren Zapfen festgehalten, so besteht die einzige Wirkung dieser Kräfte im Druck auf den Zapfen. Ist aber dies Hinderniß entfernt und kann die Nadel sich frei nach einer Rich-

tung hin bewegen, so wird die Thätigkeit dieser übrig bleibenden Kräfte offenbar; die Bewegung des Mittelpunkts der Nadel wird in Betrag und Richtung durch die Größe und Richtung der resultirenden Kraft bestimmt, welche durch die Beziehung der beiden zusammensetzenden Kräfte auf diesen Punkt angeschlagen wird.

42. Wenn der Leitungsdraht W Fig. 23 auf einem Theil der Linie WC liegt, die in rechten Winkeln zur Achse der

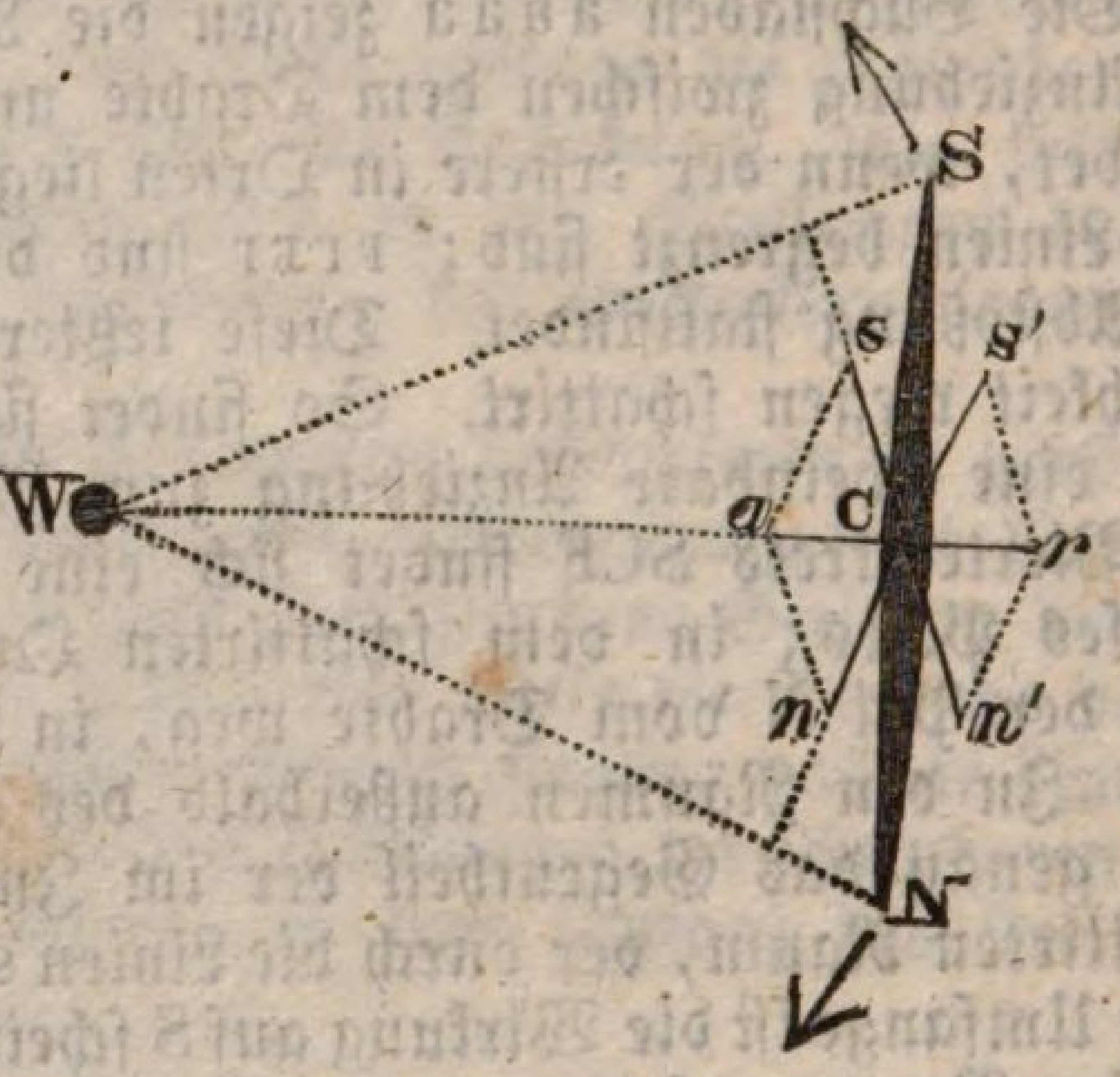


Fig. 23.

Nadel steht, so kann man sich die Tangentialkraft, die auf den Pol S in der vom Pfeil bezeichneten Richtung in rechten Winkeln zu WS einwirkt, denken, als werde sie auf den Mittelpunkt der Nadel C übertragen und durch die Linie Cs dargestellt. Die Kraft welche auf N wirkt, wird in gleicher Weise durch Cn dargestellt. Die Resultante dieser zwei Kräfte wird eine Kraft sein, welche die Diagonale Ca des Parallelogramms mit den Seiten Cs und Cn darstellt; da diese Seiten gleich und gegen WC geneigt sind, so muß diese Diagonale mit dieser Linie zusammenfallen; deßhalb wird die Kraft eine solche sein, daß sie den Mittelpunkt der Nadel nach W bewegt, d. h. die Nadel scheint dadurch angezogen zu werden. Hätte eine der Strömungen einen entgegengesetzten Lauf gehabt, oder wären die Pole der Nadel umgekehrt worden, so würden die Kräfte in entgegengesetzter Richtung gewirkt haben und hätten durch die Linien Cs′ und Cn′ dargestellt werden müssen, die ein Parallelogramm bilden,

dessen Diagnale Cr ist, welche eine Bewegung des Mittelpunkts der Nadel vom Drahte weg darstellt, also der Abstoßung gleicht. Diese Wirkung findet auch unter den ursprünglichen Umständen des Versuches statt, wenn der Draht auf der andern Seite der Nadel ist, d. h. auf irgend einem Theil der Linie CW, so daß die Nadel immer auf einer Seite vom Drahte angezogen und auf der andern abgestoßen zu werden scheint.

43. Die Stärke der Kraft, welche so die Nadel zum Draht hin oder von demselben wegtreibt, vermindert sich, sowie sich ihre Entfernung steigert. Zwei Ursachen wirken darauf hin, diese Verringerung zu erzeugen. Die eine besteht darin, daß die zusammensetzenden Kräfte selbst im umgekehrten Verhältniß zu den Entfernungen der Punkte, worauf sie einwirken, vom Drahte stehen; die andere besteht darin, daß die Winkel, welche sie mit einander bilden, stumpfer werden, je mehr diese Entfernung sich steigert. Wollen wir uns mathematischer Ausdrücke bedienen, so verhält sich die auf jeden Pol angewandte Tagentialkraft auf die Richtung der Linie bezogen, welche den Draht und den Mittelpunkt der Nadel verbindet, direkt wie der Cosinus des Winkels zwischen der Achse der Nadel und der Linie, welche den Pol und den Draht verbindet, und ebenfalls umgekehrt wie diese Linie. Nennen wir die Richtung a, die Entfernung vom Draht zum Mittelpunkt der Nadel d, die Entfernungen des Drahtes von den Polen S und N s und n und die Länge der Nadel m; ferner die Winkel zwischen der Achse der Nadel und den Linien, welche die Pole mit dem Draht verbinden α β, so erhalten wir folgende Gleichung:

$$a = \frac{\cos. \alpha}{s} + \frac{\cos. \beta}{n}.$$

Da wir aber den Fall genommen haben, daß W auf die Linie gestellt ist, die vom Mittelpunkt der Nadel und im rechten Winkel zur Achse gezogen ist, so sind die beiden erwähnten Winkel gleich, und jeder Theil der Linie ist von SN gleich entfernt, d. h.

$$\alpha = \beta \text{ und } s = n;$$

daher wird die Gleichung $a = \frac{2 \cos. \alpha}{s}$.

Jetzt $\cos. \alpha = \frac{CS}{WS} = \frac{\frac{1}{2}m}{s}$;

da dieser Werth des cos. α in der früheren Gleichung ersetzt worden ist, so wird die Formel

$$a = \frac{m}{s^2},$$

d. h. die Kraft der scheinbaren Anziehung verhält sich direkt wie die Länge der Nadel, und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Drahtes von jedem Pol.

44. Um die Anziehung des Pols in Bezug zur Entfernung des Drahtes vom Mittelpunkt der Nadel oder d anzuschlagen, müssen wir an die Stelle von s^2 die gleiche Größe $d^2 + \frac{1}{4}m^2$ setzen, so daß die Formel wird

$$a = \frac{m}{d^2 + \frac{1}{4}m^2}.$$

Ist aber die Entfernung des Drahtes sehr groß im Vergleich mit der Länge der Nadel, so kann man die Größe $\frac{1}{4}m^2$ unbedenklich vernachlässigen, und $\frac{m}{d^2}$ ohne merkbaren Irrthum als Ausdruck der Anziehungskraft annehmen.

45. Dies läßt sich durch den Versuch erläutern, daß man eine Magnetnadel, SN, Fig. 24, vom Mittelpunkt an

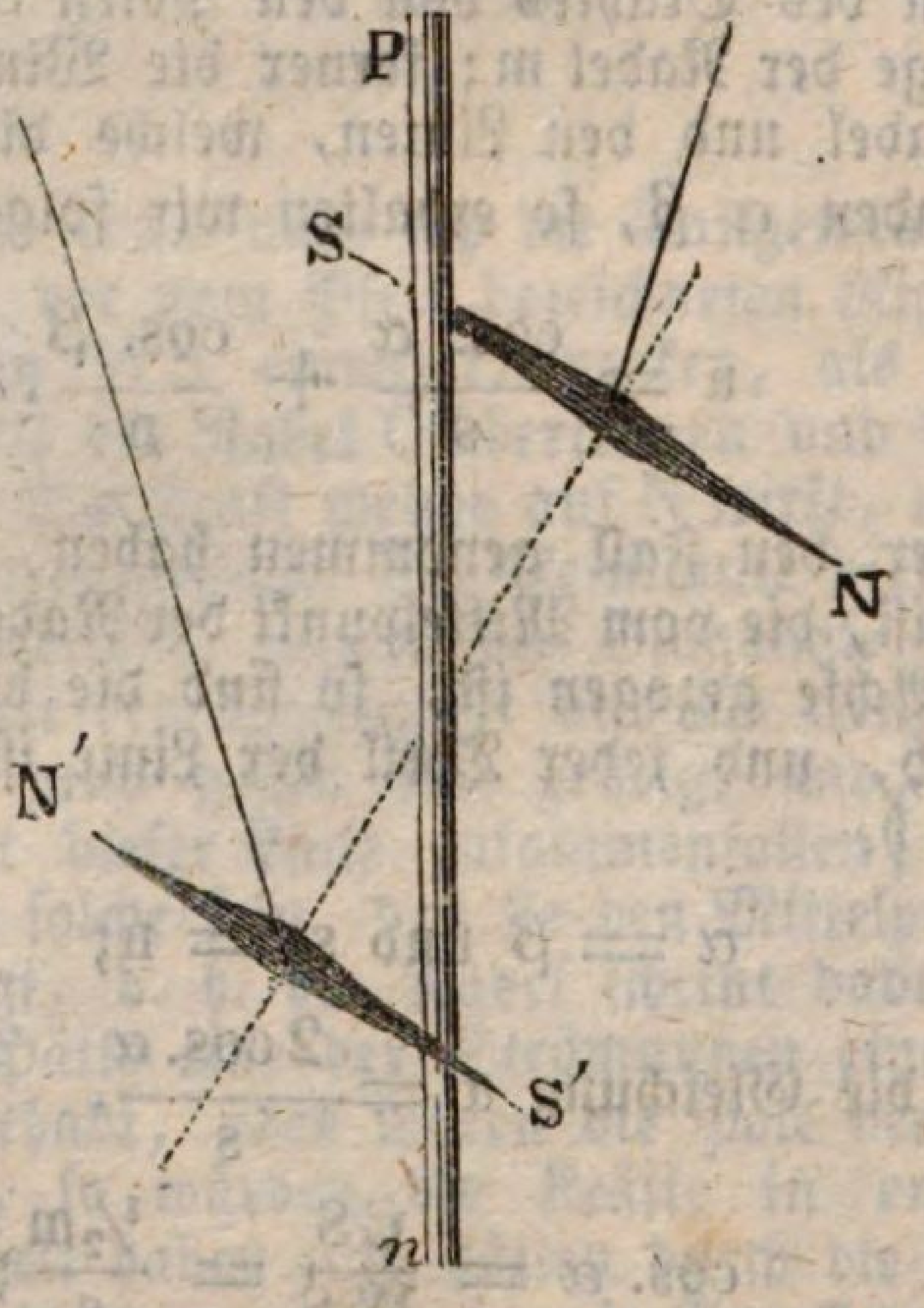


Fig. 24.

einem Faden aufhängt, so daß sie sich horizontal schwingen kann, und daß man sie in eine gewisse Entfernung von dem scheitelrechten Leitungsdraht Pn bringt; steigt der elektrische Strom diesen Draht hinab, so wird sich die Nadel so stellen, daß der Nordpol N rechts und der Südpol links von einem Zuschauer liegt, den man sich in der Stellung der Lage des Drahtes und nach der Nadel hinblickend denkt; liegt aber die Nadel vor dem Draht, wie in N′ S′, so werden die Pole eine umgekehrte Richtung haben. In beiden Fällen wird die Nadel nach dem Draht angetrieben, wie die Neigung des Fadens zeigt, woran er hängt.

46. Wenn andererseits die Nadel auf eine beträchtliche Entfernung vom Draht gebracht wird, oder was auf dasselbe herauskömmt, wenn eine sehr kurze Nadel sn genommen und um den Draht PN, Fig. 25, in einem Kreise

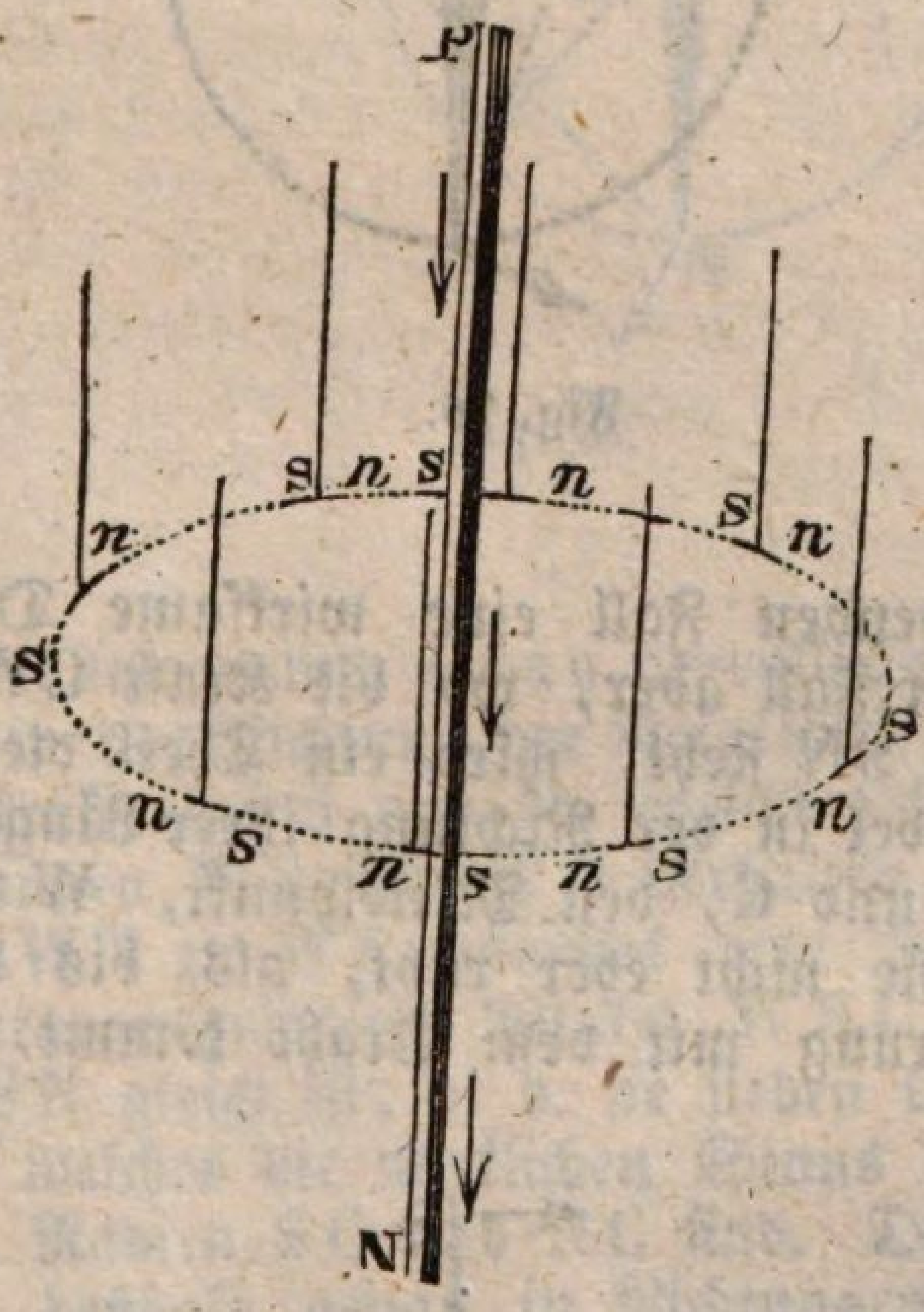


Fig. 25.

umgetrieben wird, so werden ihre Pole dieselbe Stellung immer, wie sie die Buchstaben in der Figur anzeigen, haben, indem ein jeder in der Richtung gewandt wird, worin sie in dem Umfang von der Tangentialkraft umgetrieben werden. Die Richtung aber, dem Draht sich zu nähern, ist wegen des Winkels gänzlich unmerklich, welcher durch die Richtungen

der zwei Kräfte gebildet ist, die beinahe zwei rechten Winkeln gleich sind.

47. Findet sich der Draht auf einem Theil des Umfanges des Kreises, welcher zum Mittelpunkt den Mittelpunkt der Nadel hat, und welcher durch die Pole geht, so hat die Resultante der zwei Kräfte Cs und Cn, Fig. 26, die genaue Richtung der Linie CW, und deßhalb findet sich weder in diesem noch in

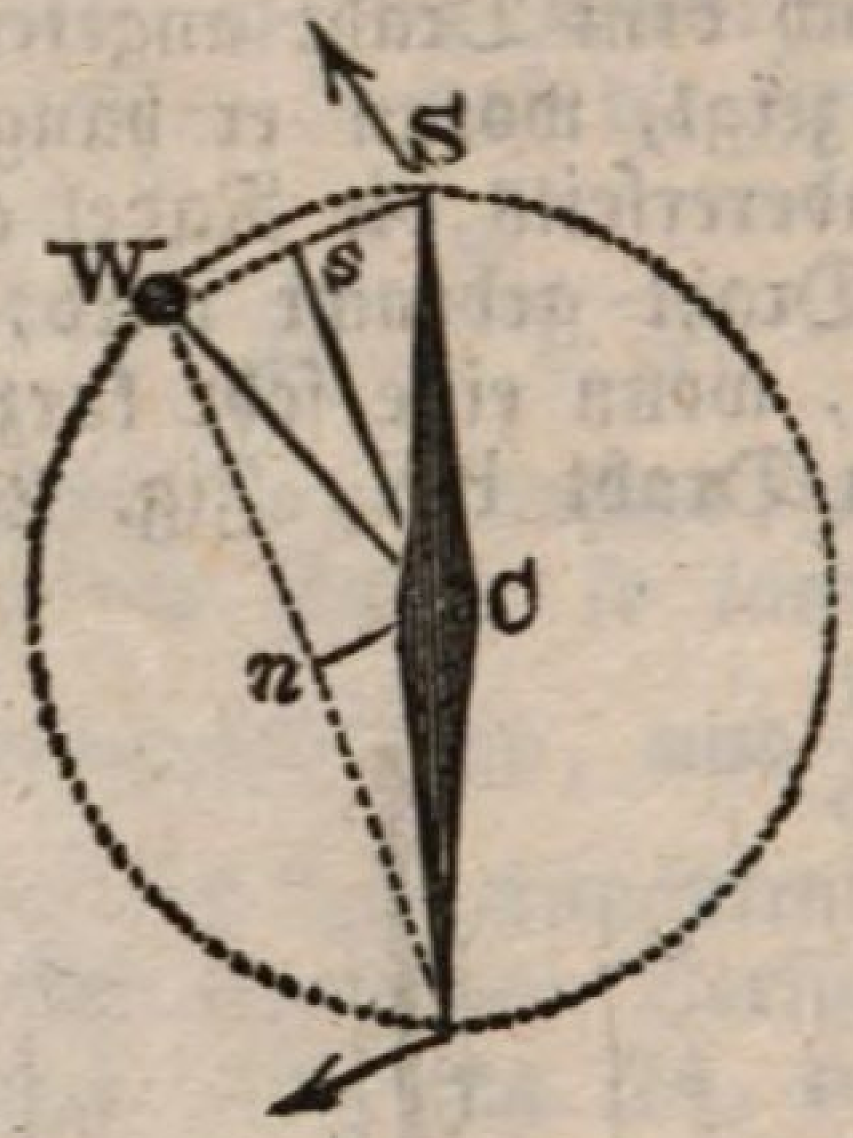


Fig. 26.

einem vorhergehenden Fall eine wirksame Drehungskraft. In vorliegendem Fall aber, wo die Kraft CW schräg zur Achse der Nadel SN steht, wird ein Theil dieser Kraft geübt, um die Nadel in der Richtung ihrer Länge von C nach S zu bewegen, und C, den Mittelpunkt, W gegenüber zu setzen, so daß sie nicht eher ruht, als bis dieser Mittelpunkt in Berührung mit dem Draht kömmt, wie Fig. 27

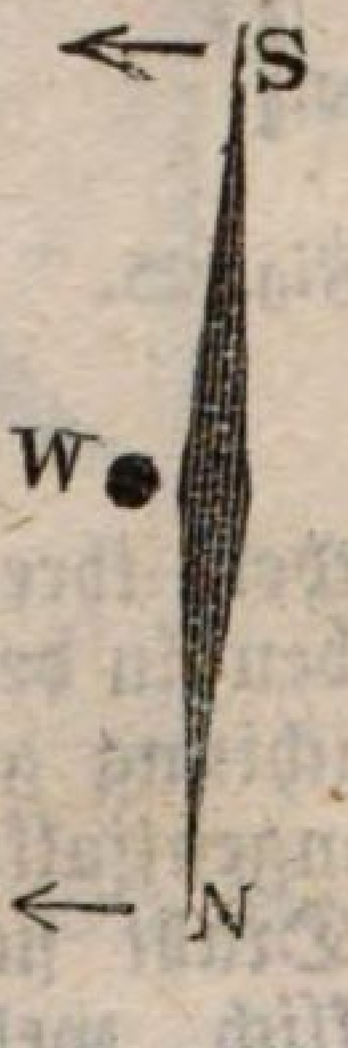


Fig. 27.

zeigt. Eine ähnliche Neigung im Mittelpunkt der Nadel, sich nach dem Drahte hinzubewegen, findet sich in allen andern Lagen des Drahtes auf der Seite der Nadel; die Richtung der erzeugten Bewegung aber ist mehr oder weniger schräg zur Linie, welche den Mittelpunkt der Nadel mit dem Draht verbindet. Diese Richtung kann man in allen Fällen leicht auffinden, indem man die Linien Cs und Cn, Fig. 28, zieht, welche senkrecht auf WS und WN stehen, und indem

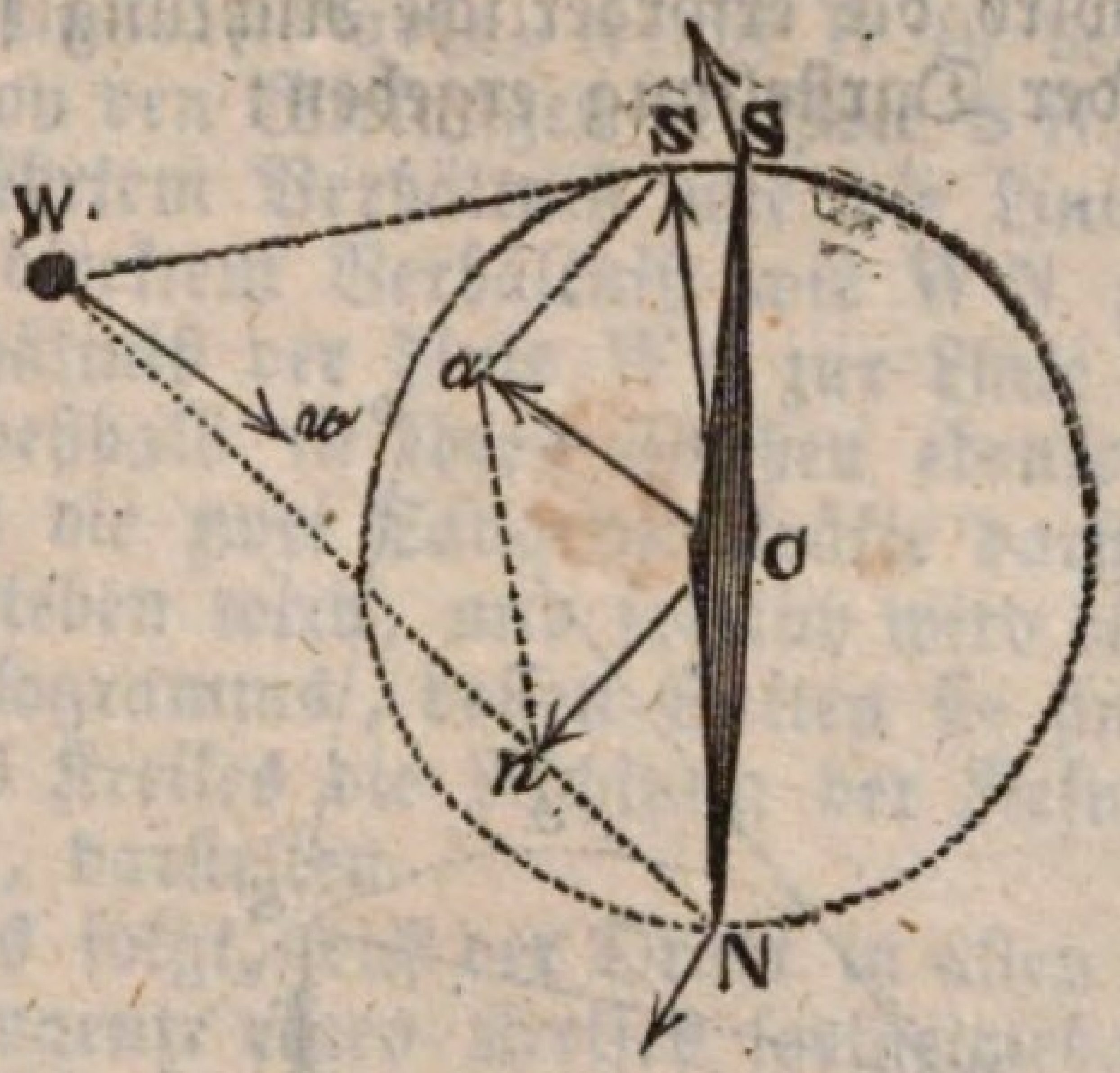


Fig. 28.

man das Parallelogramm Csan vervollständigt, dessen Diagonale Ca, in der Richtung der Resultante, die auf C wirkt, liegt. Die Kräfte bei S und N, welche sich umgekehrt, wie die Entfernungen WS und WN verhalten, stehen im Verhältniß von WN zu WS, welches dem Verhältniß der Sinus der entgegengesetzten Winkel WSC zu WNC des Dreiecks WSN gleich ist; d. h. sie stehen im Verhältniß von Cs zu Cn, welches die wirklichen Sinus dieser Winkel mit den gleichen Radien SC und NC sind. Die Linien Cs und Cn werden deßhalb genau in Richtungen und Verhältniß die Tangentialkräfte, wovon die Rede ist, darstellen.

48. Die Wirkungen zwischen dem Draht und den Polen der Nadel sind, wie wir gesehen haben, wechselseitig, indem der Draht durch eine Kraft angetrieben wird, die derjenigen an Stärke gleicht und an Richtung parallel ist, welche auch auf den Mittelpunkt der Nadel einwirkt; daher wird die Bestimmung dieser mittleren Kraft uns das Maß und die Richtung der Resultante der zwei Kräfte angeben, welche

auf den Draht einwirken. So wird der Draht W, wenn die Nadel SN, Fig. 28, durch eine von Ca dargestellte Kraft angetrieben wird, auch in gleicher Weise durch eine Kraft Ww angetrieben, die mit Ca parallel ist, aber eine entgegengesetzte Richtung hat.

49. Die Richtung der Kraft, welche den Draht durch die vereinte Wirkung der Pole der Nadel antreibt, läßt sich geometrisch auffinden, indem man einen Kreis Wb Sr Na, Fig. 29, beschreibt, welcher durch die Stellung des Drahtes und durch die zwei Pole hindurchgeht; der Durchmesser Wr dieses Kreises wird die erforderliche Richtung sein; dies wird sich aus folgender Darstellung ergeben:

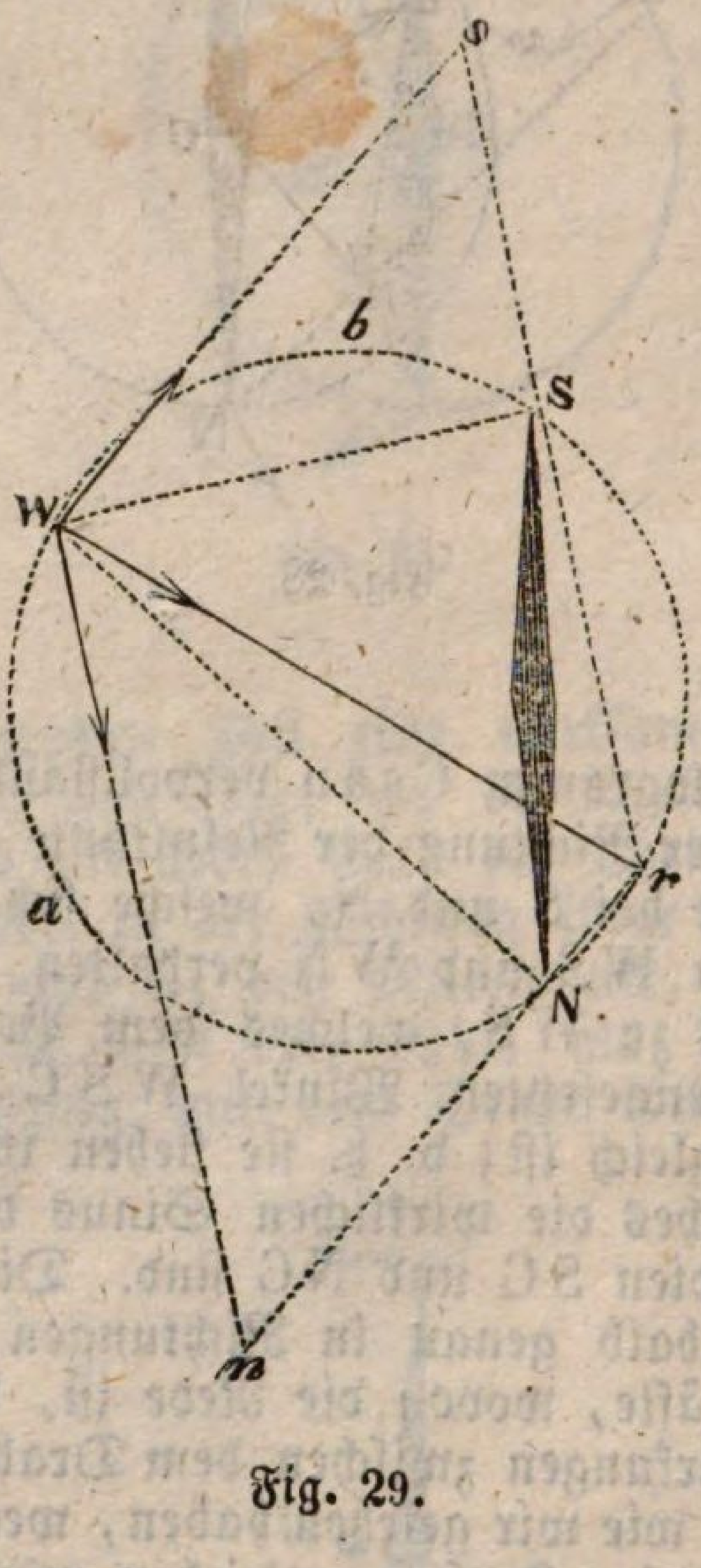


Fig. 29.

Durch S und N ziehe man Sr und Nr senkrecht zu WS und WN, welche Linien sich natürlich in r dem äußersten Punkt des Durchmessers Wr begegnen werden; durch W ziehe man Ws und Wn parallel mit rN und rS, indem

sie mit diesen Linien in s und n verlängert zusammentreffen, um ein Parallelogramm zu bilden, wovon Wr die Diagonale ist. Das Dreieck Wrs, oder das ihm gleiche Wrn, ist ähnlich dem Dreieck WSN, weil die Winkel WNS und WrS, welche sich unter denselben Bogen WbS ausdehnen, gleich sind, wie dies auch bei den Winkeln WSN und sWr, oder dem gleichen Winkel WrN der Fall ist, welcher sich unter denselben Bogen WaN ausdehnt. Die Seiten dieser Dreiecke stehen deßhalb im Verhältniß, d. h. WN : WS :: sr, oder das ihm gleiche Wn : Ws.

Die Tangentialkräfte aber, welche W in den Richtungen Wn und Ws, von den Wirkungen der Pole SN, wegtreiben, stehen in umgekehrtem Verhältniß wie die Linien WS und WN, d. h. in direktem Verhältniß wie WN zu WS und deßhalb im Verhältniß der Linie Wn zur Linie Ws. Diese Linien werden deßhalb in ihren Größen ebensowohl wie in ihren Richtungen die zwei Tangentialkräfte darstellen, durch welche W angetrieben wird, und folglich wird die Diagonale Wr des Parallelogramms, dessen Seiten sie sind, oder des Durchmessers des Kreises die Richtung der Resultante, wovon die Rede ist, darstellen.

50. Daraus folgt, daß der Draht in allen Lagen in der Richtung der Tangente eines Kreises fortgetrieben wird, der seinen Mittelpunkt in der Verlängerung der Achse des Magnetes hat und dessen Radius eine mittlere Proportionale zwischen den Entfernungen des Centrums von den zwei Polen ist. So wird der Draht W (Fig. 30) durch die Wirkung der zwei

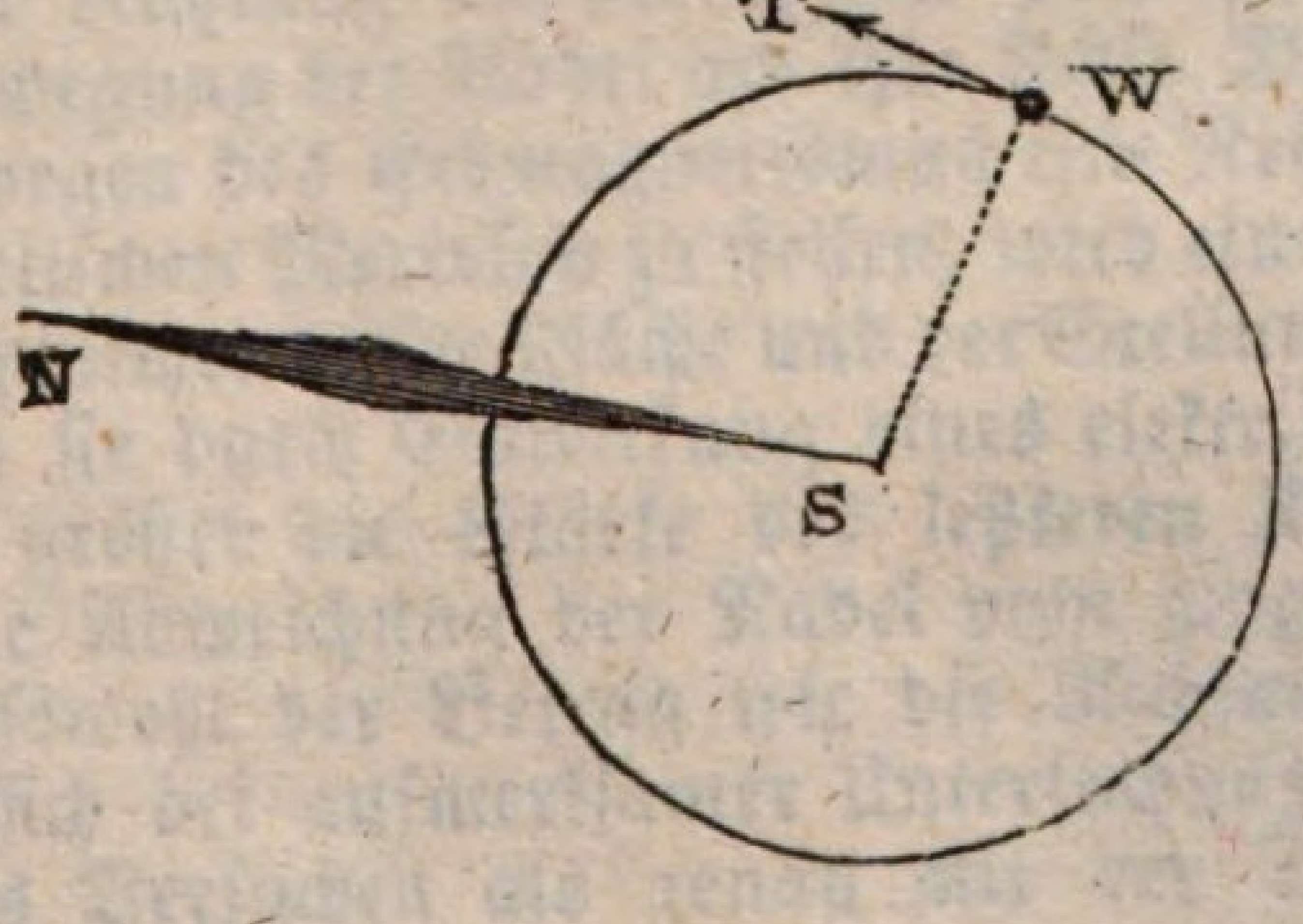


Fig. 30.

Pole NS in der Richtung der Tangente des Kreises fortgetrieben, dessen Mittelpunkt in C in der verlängerten Linie

N S liegt und dessen Radius WC eine mittlere Proportionale zwischen C S und C N ist. Er wird sich deßhalb in dem Kreise umdrehen, welcher in demselben Verhältniß zu den magnetischen Polen S und N hinsichtlich des Gesetzes elektromagnetischer Thätigkeit stehen wird, wie dies der Fall bei magnetischen Curven hinsichtlich des Gesetzes magnetischer Thätigkeit ist (Magnetismus §. 81).

Fünftes Kapitel.

Anwendung der Grundsätze auf die Erklärung besonderer Thatsachen.

51. Die Grundsätze, welche wir aus der vorhergehenden Untersuchung abgeleitet haben, bieten die Grundlage der ganzen Wissenschaft des Elektromagnetismus und geben den Schlüssel zur Erklärung einer Menge Thatsachen, wovon einige ohne genaue Aufmerksamkeit auf die Umstände des Falles sehr regelwidrig und verwirrend scheinen würden. Es ist klar, daß sie mit den Resultaten vollkommen übereinstimmen, die sich aus den ersten Versuchen von Oersted ergaben, welche man einige Zeit nicht begreifen konnte.

52. In diesen Versuchen war der Draht, wie man sich erinnern wird, horizontal und wurde entweder über oder unter der Nadel und in paralleler Richtung damit angebracht. In diesem Falle äußert sich die Wirkung des Drahtes in der Tangente des Umfangs eines scheitelrechten Kreises, welcher die Nadel in der Mitte hat, und da diese Wirkung in entgegengesetzter Richtung auf die beiden Pole geschieht, so entsteht eine Bewegung der Nadel um ihre Achse. Die Nadel aber, da sie schon wegen des Erdmagnetismus eine Neigung hat, sich in den magnetischen Meridian zu stellen, wird eine Stellung annehmen, die zwischen dieser Fläche und der Stellung in der Mitte liegt, wohin sie durch Einwirkung eines elektrischen Stromes strebt. Je größer die Stärke der letzteren Kraft ist, desto größer ist die Abweichung der Nadel vom magnetischen Meridian und sowohl der Betrag wie die Richtung der Abweichung wird sich bei aufmerksamer Untersuchung der Resultate von Oersteds Versuchen als genau mit der Theorie zusammen fallend, darstellen.

53. Wenn der Draht in der horizontalen Lage gehalten, von Oersted im rechten Winkel zur Nadel und über deren Mittelpunkt gestellt wurde, so äußerte sich keine sichtbare Wirkung, weil der Einfluß des Drahtes auf die beiden Pole in genauem Gleichgewicht gehalten war. Sobald

er aber dem einen der Pole näher gebracht wurde wie dem andern, so veranlaßte er dessen Erhebung oder Senkung, je nach der Richtung dieser Wirkung, in derselben Weise, wie die Theorie uns dies erwarten läßt.

54. Barlow unternahm eine Reihe von Versuchen, um die Abweichungen einer Magnetnadel von ihren natürlichen Stellungen herauszubringen, die durch einen scheitelrechten Leitungsdraht unter verschiedenen Umständen hervorbracht wurden und leitete aus der Theorie verschiedene Formeln ab, wodurch sich der Betrag berechnen ließ.

55. Die Betrachtung der Spekulationen und Vermuthungen, zu welchen diese Thatsachen führten, werden wir auf einen zukünftigen Ort verschieben und beschränken hier unsere Aufmerksamkeit auf die Thatsachen selbst. Somit erwähnen wir Faraday's Beobachtungen, welche noch zu auffallenderen Erläuterungen der Tangentialkraft führten. Faraday gibt an, er habe den Draht senkrecht gestellt, und die Nadel genähert, um deren Anziehungs- und Abstoßungsstellungen in Bezug auf den Draht herauszubringen; anstatt vier, nämlich einer Anziehungs- und Abstoßungsstellung für jeden Pol, fand er acht, d. h. zwei Anziehungs- und zwei Abstoßungsstellungen für jeden Pol. Indem er so der Nadel gestattete, ihre Stellung im Gleichgewicht quer über dem Draht anzunehmen und alsdann die Stütze der Nadel vom Draht langsam wegnahm, so daß er z. B. den Nordpol ihr näher brachte, fand sich Anziehung; kam er aber ein wenig weiter, so daß das Ende der Nadel der dem Draht nächste Punkt war, fand sich Abstoßung, obgleich der Draht sich noch auf derselben Seite der Nadel befand. War der Draht auf der andern Seite desselben Pols der Nadel, so stieß er sie ab, wenn sie an den meisten Punkten zwischen dem Mittelpunkt und dem Ende sich befand; es fand sich aber ein kleiner Theil gerade am Ende, wo Anziehung statt hatte.

56. Figur 31 gibt eine Uebersicht über die verschiedenen Lagen der Nadel und des Drahtes in einem dieser Versuche. Man denke sich, der elektrische Strom steige den scheitelrechten Draht p n hinab, welcher in acht verschiedenen Stellungen abgebildet ist, indem die Buchstaben A a R r die Wirkung bezeichnen, die in jedem dieser Drähte stattfindet. Bezieht man sich auf Figur 22 und auf die §. 40 angegebenen allgemeine Ergebnisse, so wird dies die von Faraday mitgetheilten Thatsachen zur Genüge erklären, wenn wir einen Umstand beachten, welcher bei Nadeln von spitzer Form ist eintritt, nämlich daß der Mittelpunkt des thätigen

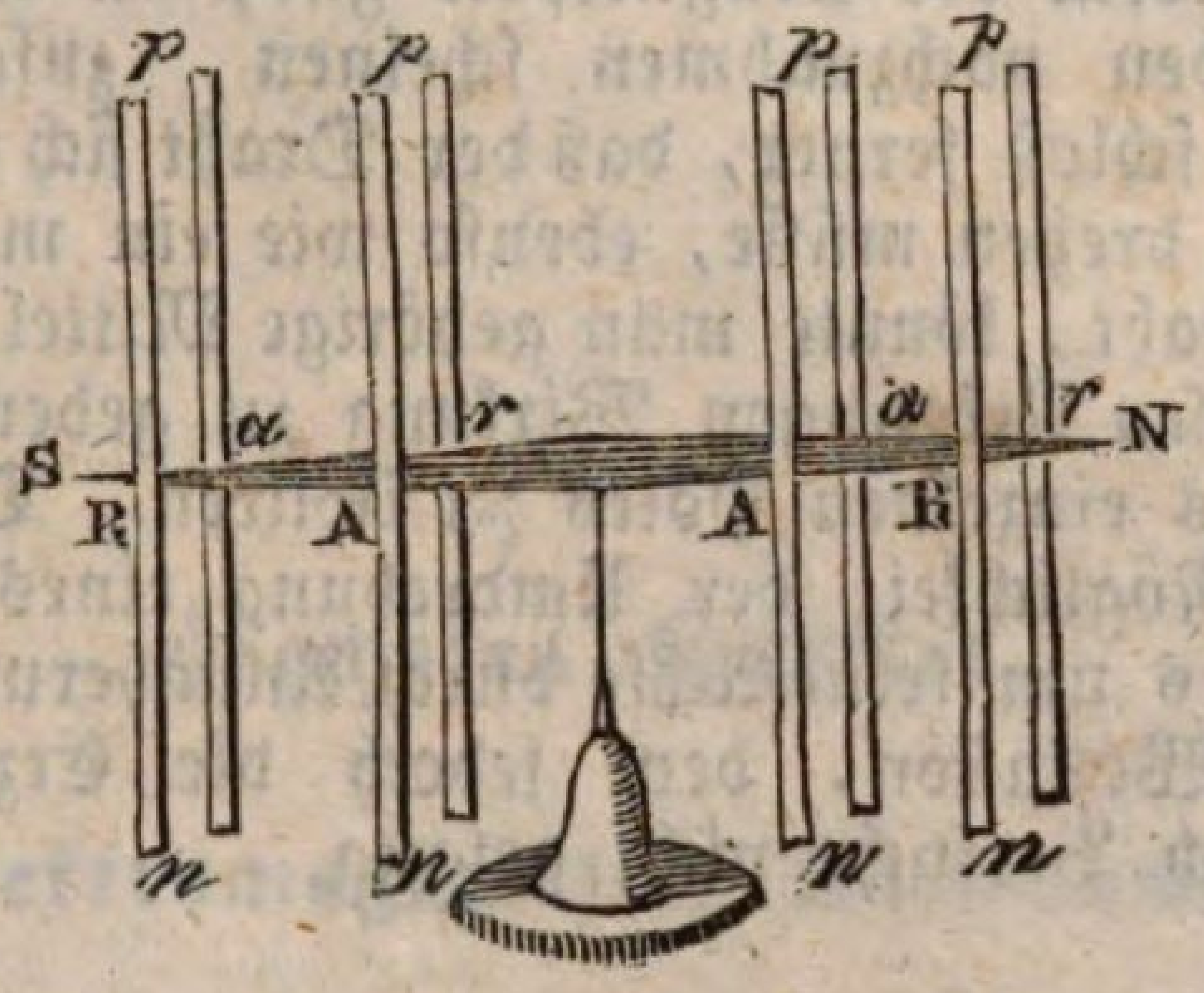


Fig. 31.

Theils jeder Hälfte der Nadel oder ihr wahrer Pol nicht genau am Ende, sondern auf einem Punkt in dessen Nähe, dem Mittelpunkt der Nadel zu liegt. So lagen die Drähte in den äußersten Stellungen an den Enden der Nadel in Wirklichkeit jenseits der Pole und entsprachen in ihrer Lage den Punkten außerhalb des Kreises, der durch diese Pole ging, welcher der in Figur 22 dargestellte Kreis ist.

57. Auf die Rückwirkung der Nadel auf den Draht in diesen Lagen wurde ebenfalls von Faraday hingewiesen und dieselbe ward durch folgende Figur erläutert, welche den Horizontaldurchschnitt des Drahtes in verschiedenen Lagen in Bezug auf die Nadel darstellt, welche auf dem Mittelpunkt C im Gleichgewicht gehalten wird. Sie sind mit A oder R bezeichnet, je nachdem sie die nahen Pole S und N anzuziehen oder abzustoßen scheinen und die Pfeile zeigen die Richtung der kreisförmigen Bewegung an, welche sich daraus ergab.

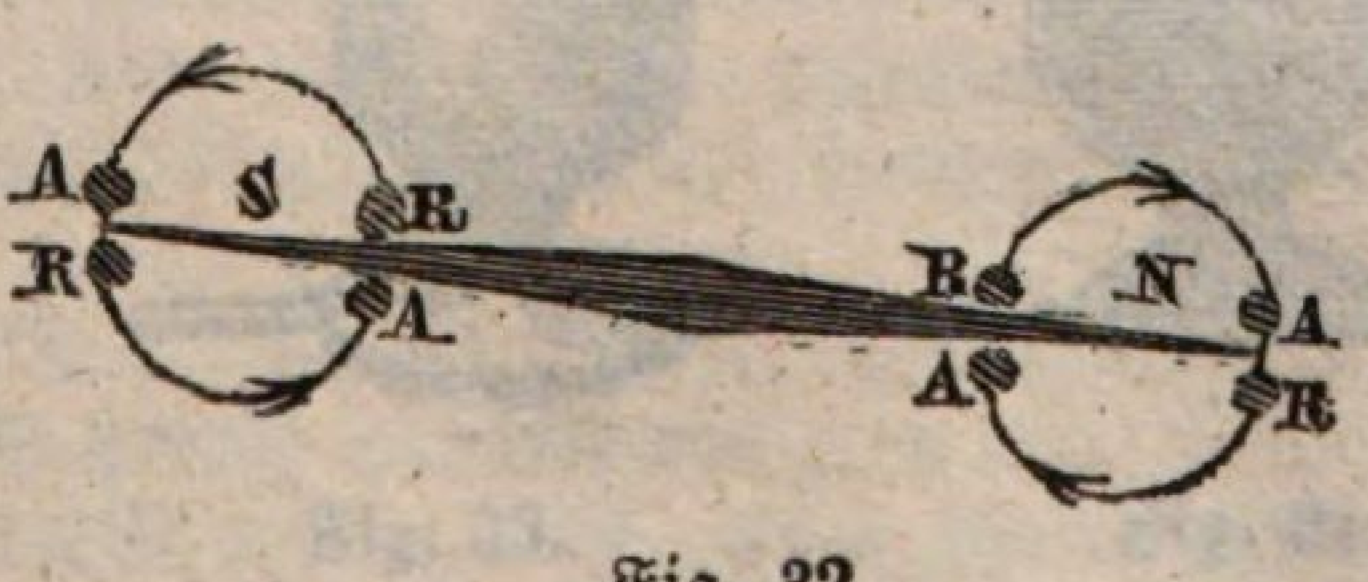


Fig. 32.

58. Faraday schloß richtig aus diesen Thatsachen, daß es keine wirkliche Anziehung oder Abstoßung zwischen dem

Draht und jedem der Magnetpole gab, da die Wirkungen, welche dieselben nachzuahmen scheinen, zusammengesetzter Art sind; er schloß ferner, daß der Draht sich um einen magnetischen Pol drehen müsse, ebenso wie ein magnetischer Pol um einen Draht, könnte man gehörige Mittel ausfindig machen, um diesen Neigungen Wirkung zu geben und die Einwirkung eines einzelnen Poles zu isoliren. Den ersten Gedanken der Möglichkeit der Umdrehung eines elektromagnetischen Drahtes um seine Achse durch Annäherung eines Magnetes faßte Wollaston, dem jedoch die Erzeugung dieser Wirkung durch Versuche nicht gelang.

Sechstes Kapitel.

Elektromagnetische Umdrehung.

59. Die fortgesetzte Umdrehung eines der Pole eines Magnetes wurde von Faraday auf folgende Weise erzeugt: damit die Wirkung des Drahtes auf den in Frage stehenden Pol beschränkt bliebe, ward der ganze Magnet mit Ausnahme des Endes, worin der Pol lag, in Quecksilber getaucht, indem das untere Ende durch einen Faden an den Boden des Geschirres befestigt wurde, welches das Quecksilber enthielt; der Leitungsdraht wurde in das Quecksilber gerade über dem Ort geführt, wo der Kupferdraht in das Geschirr befestigt war. Diese Vorrichtung ist in Figur 33 dargestellt und ein Durchschnitt in Figur 34 gezeigt.

Fig. 33.

Fig. 34.

Um den elektrischen Strom durch das Quecksilber zu leiten, wurde ein Loch auf den Boden der Schale eingebohrt,

in welches ein Kupferpflock fest eingebracht wurde, der sich etwas in die Schale erhob und an eine kleine runde Kupferplatte geheftet war, welcher einen Theil vom Fuß des Gefäßes bildete. Eine ähnliche Kupferplatte ward an die gedrehte hölzerne Grundlage geheftet, worauf die Schale stand und ein anderes Stück starken Knpferdrahtes, daran unten befestigt, war so gebildet, daß es sich, nachdem es etwas nach unten gegangen war, horizontal drehte. Die Oberflächen dieser zwei Platten, welche dazu bestimmt waren, daß sie zusammen kamen, waren von Zink und amalgamirt, damit sie länger reinlich und glänzend blieben und eine bessere Berührung böten. Der gebrauchte Magnet war immer von cylindrischer Form und sehr kräftig; sein unterer Pol war durch ein Stück Faden an den Kupferpflock auf dem Boden der Schale befestigt. Die Höhe des Magnetes und die Länge des Fadens waren so gerichtet, daß der freie Pol, wenn die Schale beinahe gänzlich mit Quecksilber gefüllt war, auf dessen Oberfläche schwamm. Der aufrecht stehende Draht, welcher mit einem der Pole der Volta'schen Batterie in Verbindung stand, und welcher die elektrische Flüssigkeit leitete, die auf den oberen Pol des Magnetes einwirken sollte, ging abwärts von dem oberen Zweige eines Gestelles, so daß er auf eine geringe Tiefe unter die Oberfläche des Quecksilbers herabstieg. Das untere Ende war amalgamirt, um eine vollkommene Berührung zu sichern; die Kette ward durch eine Verbindung zwischen dem unteren Drahte und dem andern Pole der Batterie vervollständigt. Sobald der Strom in der Vorrichtung auf diese Weise hergestellt ist, dreht sich der obere Pol des Magnetes sogleich um den Draht, der in das Quecksilber eintaucht. Da die Kraft, welche Einfluß auf ihn übt, ohne Unterbrechung, ungeachtet der Bewegung des Magnetes, fortdauert, wirkt sie als beschleunigend; da aber die Bewegung des Magnetes in einem Kreis eine Centrifugalkraft entstehen läßt, so wird der Magnet in größere Entfernung vom Drahte getrieben, bis sein gesteigertes Moment durch den vermehrten Widerstand des Quecksilbers ausgeglichen wird, worauf seine Geschwindigkeit gleichförmig wird.

60. Die Richtung der Bewegung hängt von der Richtung des Stromes und von der Art des Poles ab, der durch ihn in Bewegung gesetzt wird. Steigt der Strom abwärts, so dreht sich der Nordpol eines Magnetes von der Linken zur Rechten, d. h. in der Richtung des Zeigers einer Uhr. Ist der sich umdrehende Pol ein Südpol, so bewegt er sich in entgegengesetzter Richtung. Alles dies stimmt mit demjenigen

vollkommen überein, was in §. 21, 22 u. 23 dargestellt und in Figur 7 und 8 erläutert ist.

61. Um den Widerstand zu vermindern, den die Umdrehung des Magnetes im Quecksilber finden muß, sind Versuche gemacht worden, den Magnet auf einem Zapfen schweben zu lassen; allein die Schwierigkeit bestand immer darin, daß man ein Verfahren ersinnen mußte, wodurch der Strom abgeschnitten wurde, nachdem er auf einen Pol des Magnetes eingewirkt hatte. Es wurde klar, daß kein fester Leiter dem Zweck entsprechen konnte, da er immer dem Magnete auf seiner Bahn entgegenstehen mußte. Dieser Schwierigkeit läßt sich dadurch vorbeugen, daß man einen Magnet von der besonderen, Figur 35 dargestellten Form anwendet, der eine doppelte Biegung in der Mitte hat, so daß dieser Theil horizontal ist, während die beiden Enden scheitelrecht stehen. Der so gebildete Magnet hat an der unteren Seite des horizontalen mittleren Theiles eine Agatkappe, die auf einer feinen Spitze eines aufrechtstehenden Drahtes schwebt, welcher an die Grundlage der Vorrichtung geheftet ist und worauf der Magnet in solcher Weise ruht, daß er sich frei umdrehen kann. Um diese Bewegung bleibend zu machen, muß man eine Drahtschnur um den Magneten mehr unten befestigen, welche den aufrechten Draht umfaßt und diesen Theil des Magnetes in einer bleibenden scheitelrechten Richtung hält. Ein kleiner Behälter mit Quecksilber ist auch um den Magneten in der Mitte seiner oberen Seite, gerade über dem Aufhängungspunkte befestigt. Ein gebogener Draht, gespitzt und am Ende amalgamirt, geht von diesem Behälter aus und taucht in eine kreisrunde Mulde voll Quecksilber ein, welche in der Mitte offen ist, so daß sie dem Magnet gestattet, frei durch die Oeffnung hindurchzugehen; die Mulde wird von einem Gestell gehalten, das auf Beinen ruht, welche es mit der Grundlage verbinden. Ein Draht, der von dem Inneren dieses runden Behälters ausgeht, endigt sich in eine Schale voll Quecksilber. Der elektrische Strom, welcher ausschließlich auf die obere Hälfte des Magnetes einwirken soll, ist durch einen scheitelrechten Draht von genügender Dicke zu leiten, welchen man so befestigt hat, daß er gerade in den kleinen, an dem Magnet befestigten Behälter eintaucht. Hat der Strom diesen Punkt erreicht, so wird er von seinem Laufe durch den Draht abgewandt, welcher in den großen Behälter eintaucht, und wird von dort durch den Draht, der in der zuletzt beschriebenen Schale endigt, auf solche Entfernung und in solcher Richtung fortgeführt, daß er auf den unteren Pol des Magnetes

nicht einwirken kann. Der Magnet dreht sich auf solche Weise mit großer Geschwindigkeit. Es braucht kaum bemerkt zu werden, daß die Richtung der Umdrehung sowohl von der Richtung des Stromes, wie von der Natur des Poles, worauf eingewirkt wird, abhängt; kehrt man beide Bedingungen um, so erhält man eine Veränderung der Richtung. Watkins beschreibt eine Vorrichtung, wodurch diese entgegengesetzten Umdrehungen in zwei Magneten sich zugleich und bei demselben Strom zeigen können, indem man die Pole des einen in entgegengesetzter Stellung zu denen des andern bringt. Man braucht jedoch bei diesen als offenbar sich darbietenden Wirkungen des einfachen Instrumentes nicht zu verweilen.

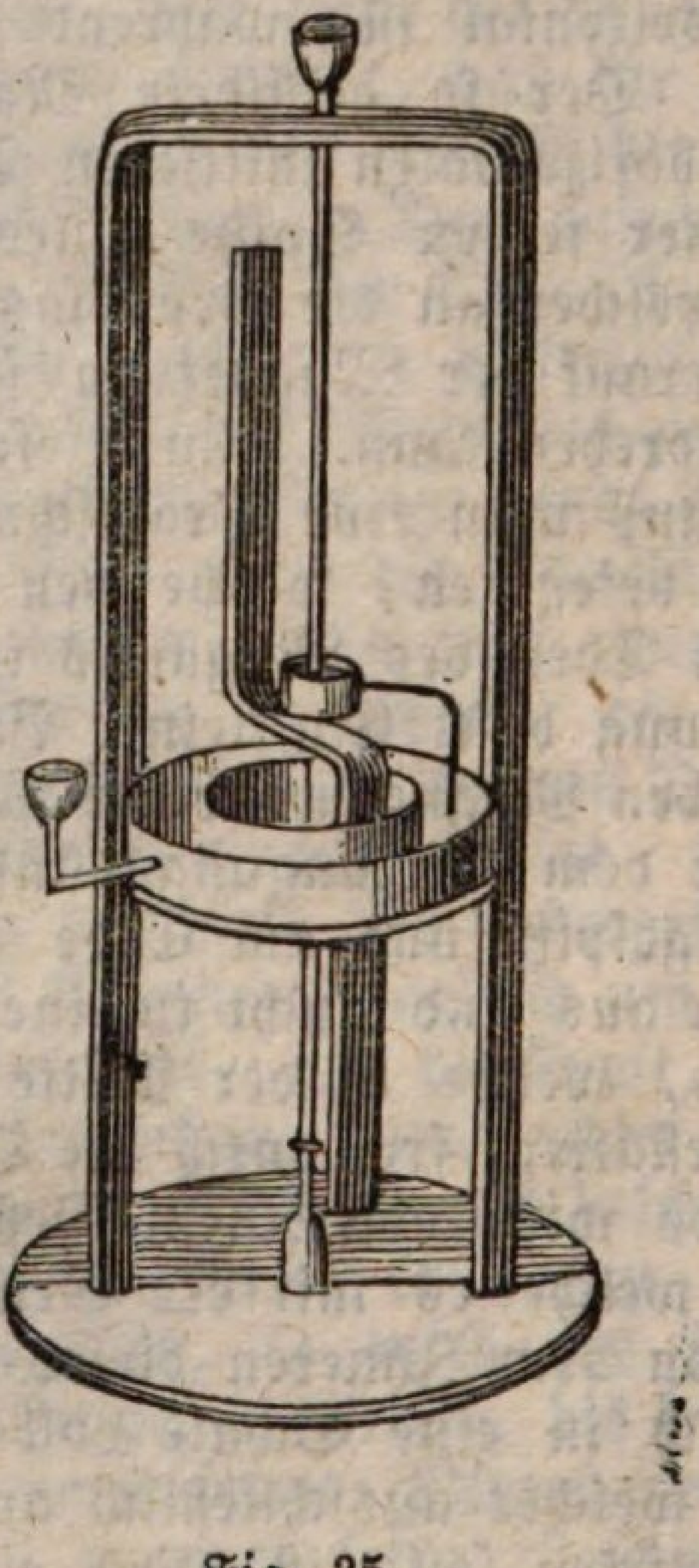


Fig. 35.

62. In den angegebenen Beispielen war der Draht befestigt und der Magnet konnte sich frei bewegen. Um jedoch die Umdrehung des Leitungsdrahtes um einen der Pole des Magnetes zu zeigen, ist diese Anordnung umzukehren, d. h. der Draht muß Freiheit der Bewegung besitzen, und der Magnet muß befestigt sein. Faraday führte dies aus, indem

er die in Fig. 36 dargestellte Vorrichtung anwendete. Die Glasschale, welche das Quecksilber enthält, ist seicht und hat einen Stiel mit einer Röhre, anstatt aber mit einem Pflock verschlossen zu sein, wie es bei der Oeffnung des ersten Gefäßes der Fall war, ist eine kleine Dille aus Kupfer darin angebracht und wird dort durch die Anheftung einer runden Platte unten gehalten, welche an den gläsernen Fuß gekittet ist, so daß kein Quecksilber heraus kann. Diese Platte ist verzinnt und an ihrer unteren Oberfläche amalgamirt, und steht auf einer anderen Platte nebst Draht wie in der ersteren Vorrichtung. Ein kleiner cylindrischer Magnet wird in die Dille auf beliebige Höhe gestellt und alsdann Quecksilber hineingegossen, bis dasselbe so hoch steigt, daß nichts wie der vorragende Pol des Magnetes über seiner Oberfläche in der Mitte hervorragt. Die Formen und Stellungen dieser Theile sieht man im Durchschnitt Fig. 37. Den Draht, wel-

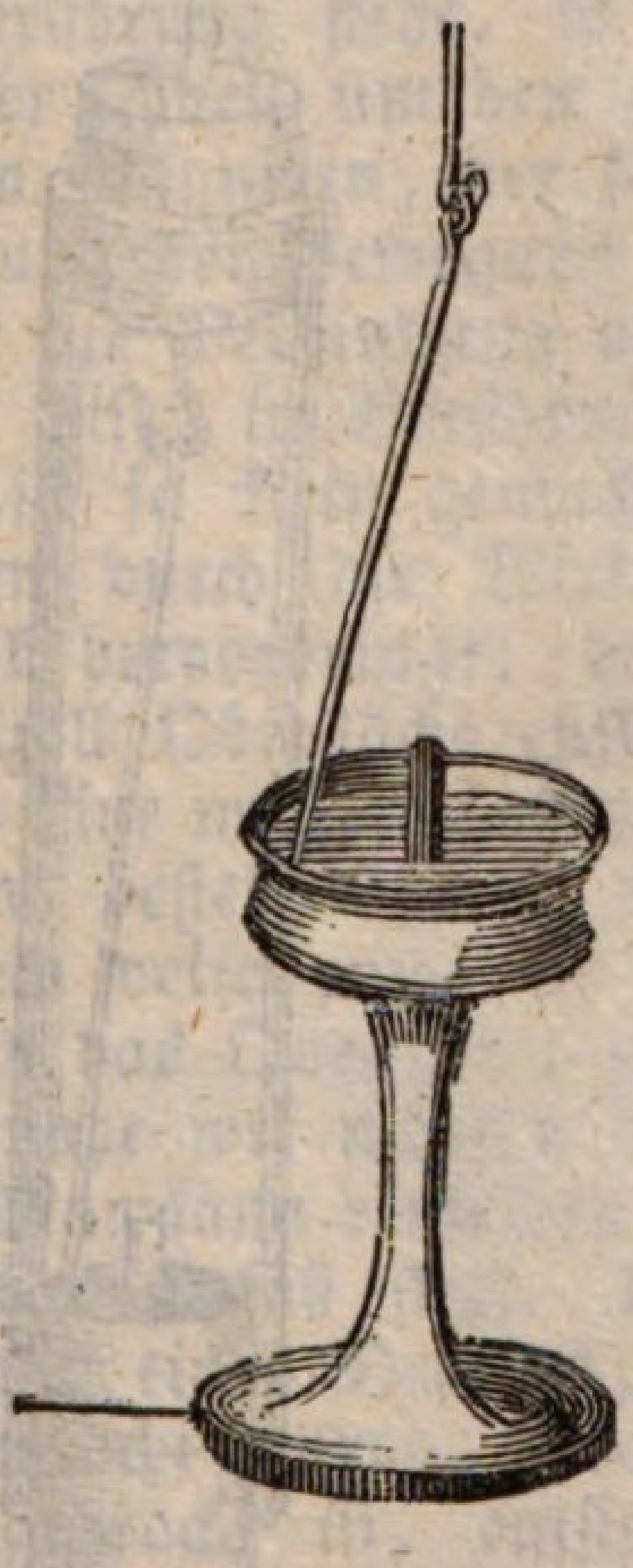


Fig 36.

Fig. 37.

cher in das Quecksilber eintaucht und dessen unteres Ende amalgamirt ist, kann man an einem festen Draht entweder vermittelst einer Kugel mit einem Gelenk in einer Höhlung, welches so gebildet ist, daß es die ununterbrochene Verbindung der

Metallleiter sichert, oder noch einfacher vermittelst eines Hakens aufhängen. Die beste Weise, eine vollständige Berührung zu erhalten, besteht darin, daß man den festen Draht sich mit einer kleinen, Quecksilber enthaltenden Schale, mit der Oeffnung nach oben, enden läßt, und daß man den beweglichen Draht in der Form eines Hakens biegt, dessen Ende geschärft sein und auf dem Boden der Schale im Quecksilber ruhen muß, wie Fig. 38. zeigt. Dieser letztere Draht, welcher volle Freiheit der Bewegung besitzt, dreht sich um den Pol des Magnetes, der über der Oberfläche des Quecksilbers liegt, mit beschleunigter Geschwindigkeit, welche nachher wegen steigenden Widerstandes der Flüssigkeit gleichförmig wird; die Richtung der Bewegung wird durch die Grundsätze bedingt, welche in §. 26 schon dargelegt und durch Fig. 9, 10 u. 11 erläutert sind.

Fig. 38.

Fig. 39.

63. Faraday erfand eine kleine Vorrichtung, die einem ähnlichen Zweck entsprach, und worin der Draht sich sehr schnell bei sehr kleiner Volta'scher Kraft umdreht. Sie besteht aus dem Stück einer Glasröhre GG Fig. 39, deren unteres Ende durch einen Kork verschlossen ist, durch welchen ein kleiner Draht weichen Eisens hindurchgeht, so daß er über und unter dem Kork hervorragt. Ein wenig Quecksilber wird alsdann hineingegossen, um einen Kanal zwischen dem Eisendraht und der Glasröhre zu bilden. Die obere Oeffnung ist ebenfalls von einem Kork verschlossen, durch welchen ein Stück Platinadraht hindurchgeht, der unten mit einem Haken endigt; ein anderes Drahtstück hängt daran an einem Haken herab, und da das untere Ende, welches etwas in das Quecksilber eintaucht, etwas amalgamirt ist, so wird es vor Anhängung an des Glas oder Eisendraht geschützt. Wenn sogar eine schwache Volta'sche Kette mit den oberen und untereren Enden dieser Vorrichtung verbunden wird, und wenn der Pol eines Magnetes mit dem äußeren Ende des Drahtes M in Berührung steht, sò dreht sich der bewegliche Draht innen sehr schnell um den auf diese Weise durch Induktion gebildeten Magneten, der kurze Zeit seine Kraft behält, und die Richtung der Bewegung selbst wird verändert, wenn man entweder die Verbindung oder den Pol des Magnetes, der mit dem Eisen in Berührung steht, verändert. Diese Vorrichtung ist so klein gemacht worden, daß sie schnelle Umdrehungen durch die Wirkung zweier Platten von Kupfer und Zink hervorbringt, deren jede nicht mehr wie einen Quadratzoll Oberfläche enthält.

64. Eine noch einfachere Art, die Drehung des Drahtes zu zeigen, besteht darin, daß man statt einer durchbohrten Schale ein weites und sehr seichtes Gefäß, z. B. eine Untertasse, um das Quecksilber zu enthalten, anwendet, und daß man so nahe wie möglich einen starken Magneten darunter bringt. Man kann denselben sogar unter dem Tisch anbringen, worauf das Gefäß steht. Unter diesen Umständen wird die Umdrehung eines Drahtes, welcher wie zuvor in das Quecksilber getaucht wurde, sobald derselbe in einen Volta'schen Strom gebracht ist, entstehen. Die Wirkung ist dieselbe, mag der Magnet horizontal oder scheitelrecht gehalten oder in Winkeln geneigt sein, vorausgesetzt, der Magnet ist lang genug, so daß der Einfluß des andern Pols nicht merkbar auf den Draht einwirkt.

65. Eine Vorrichtung ist von Griffiths verfertigt worden, um in gleicher Weise die gleichzeitige Umdrehung zweier Leitungsdrähte um die entgegengesetzten Pole der Magnete

darzustellen. Zwei Kupferdrähte, welche so hingen, daß sie sich frei bewegten, wurden in ein seichtes Gefäß mit Quecksilber eingetaucht, worin zwei Stangenmagnete befestigt waren, indem ihre entgegengesetzten Pole sich über die Oberfläche erhoben. Bei Herstellung der Verbindung zwischen der Batterie und der Vorrichtung drehten sich die Drähte gleichzeitig um die Magnete, jedoch in entgegengesetzten Richtungen.

66. Die zwei Formen elektromagnetischer Umdrehungen, welche bis jetzt beschrieben wurden, zeigen sich zugleich in einer von Faraday beschriebenen Vorrichtung, worin die in den zwei ersten Versuchen gebrauchten Schalen beide den Einfluß derselben Volta'schen Batterie erleiden; diese zusammengesetzte Vorrichtung ist Fig. 40 dargestellt. Die Schalen,

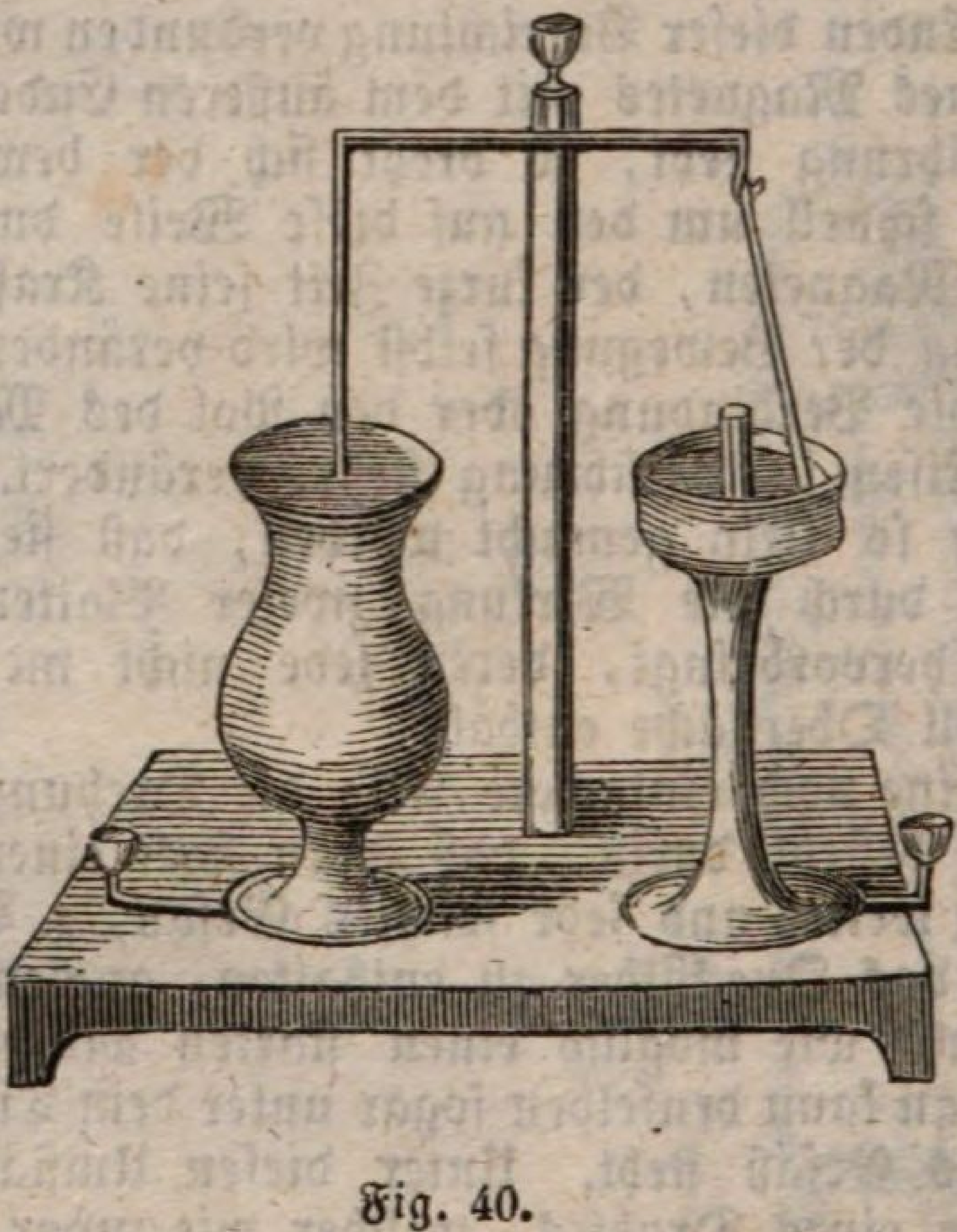


Fig. 40.

worin die unteren Drähte, welche von dem Boden jeder Schale ausgehen, sich enden, stehen vermittelst Drähte mit den entgegengesetzten Polen einer Batterie in Verbindung. Die obern Drähte stehen durch ein Querdraht in Verbindung, welcher von einer aufrechten Säule in der Mitte des Gestelles getragen wird. Der Strom der Elektrizität deßhalb wird durch das Quecksilber und den Draht in eine der Schalen aufsteigen, in die andere absteigen und zugleich eine drehende

Bewegung des Magnetes in einem Fall und im andern eine umdrehende Bewegung des Drahtes erzeugen. Eine Schale befindet sich ebenfalls über der Mitte des Querdrahtes, um den elektrischen Strom in derselben Richtung beider Drähte entlang zu senden, indem man sie mit einem der Pole der Volta'schen Batterie in Verbindung bringt, während die unteren Schalen beide mit dem andern Pole in Berührung stehen. Die Annahme dieser Anordnung erzeugt einen entsprechenden Wechsel in der Richtung einer der Umdrehungen.

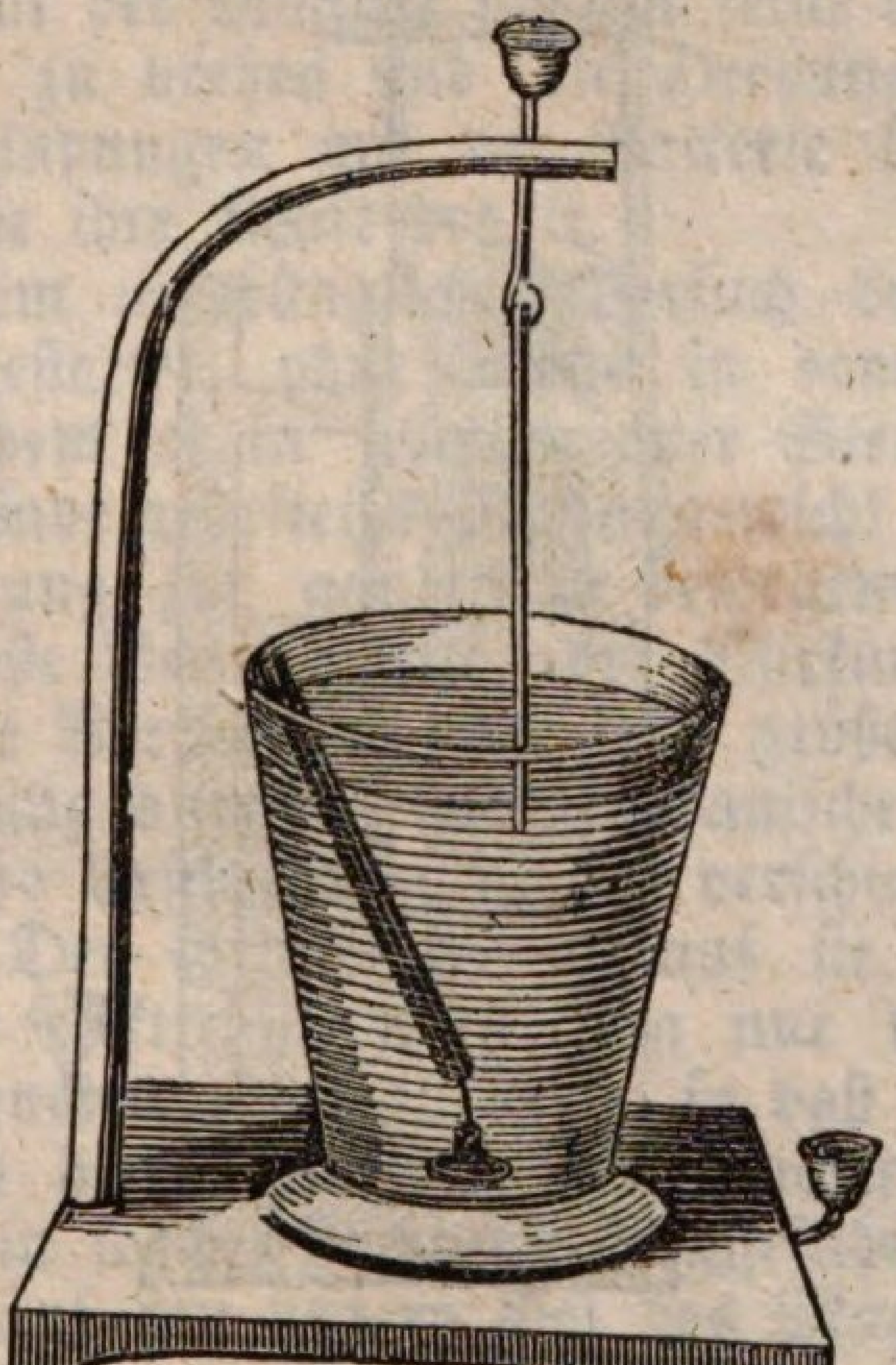


Fig. 41.

67. Die zwei Erscheinungen lassen sich sogar in demselben Gefäße zeigen, wenn man in demjenigen, welches den beweglichen Magnet enthält, Fig. 33, den Draht, welcher in das Quecksilber eintaucht, beweglich macht, wie in Fig. 38, was durch eine dem Zweck angepaßte Aufhängungsweise geschieht. Der Draht und der Magnet werden sich alsdann in derselben Richtung um einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt der Bewegung drehen, wobei einer dem andern um den Umfang des durch die Umdrehung beschriebenen Kreises zu verfolgen und von demselben verfolgt zu werden scheint.

68. Nach der Entdeckung der Umdrehung des Magnets um den Leitungsdraht und des Drahtes um den Magnet sind viele Versuche gemacht worden, um die Umdrehung eines Magnetes oder eines Leiters um die eigenen Achsen zu erlangen. Ampère war der Erste, der den ersten Zweck erreichte, welcher durch folgendes Verfahren bewirkt werden kann. Der cylindrische Magnet, Fig. 42 im Durchschnitt gesehen, endigt am

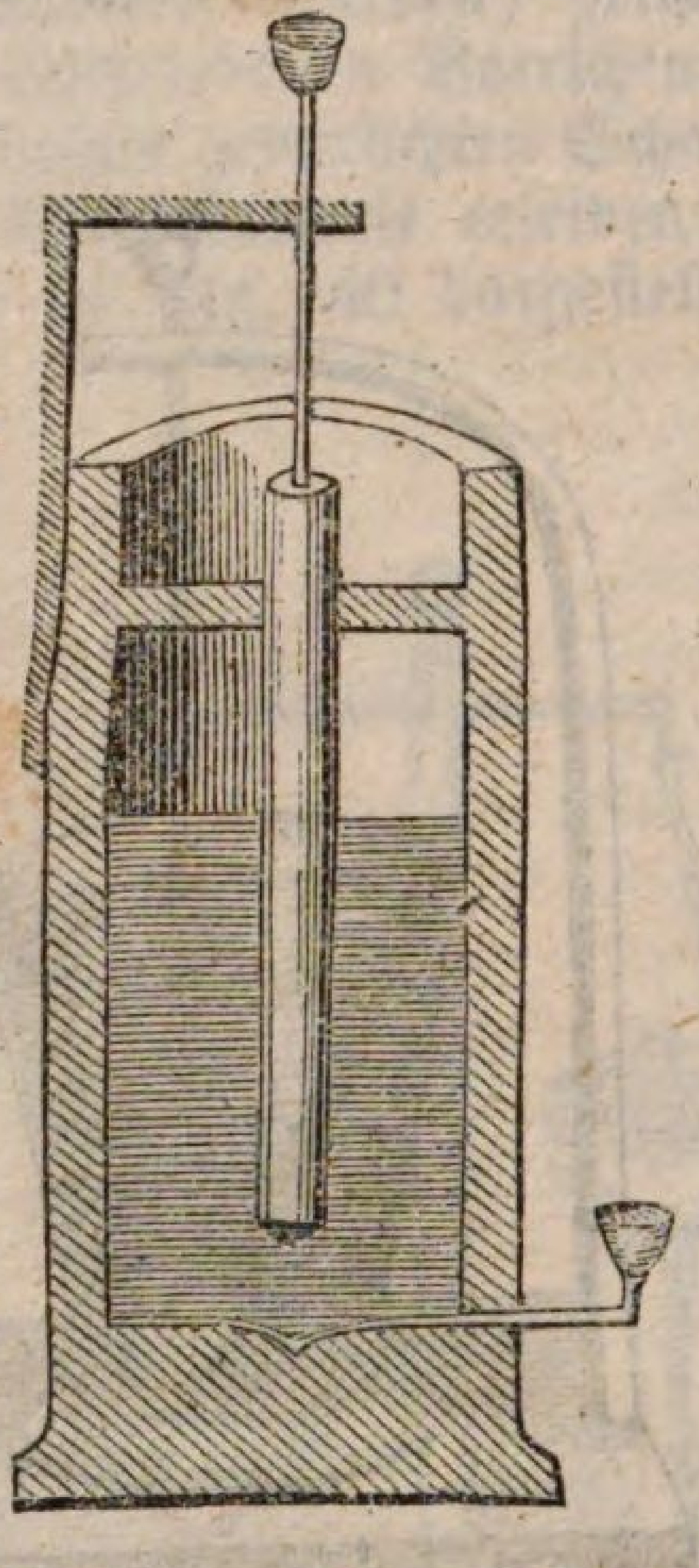


Fig. 42.

unteren Ende in einer scharfen Stahlspitze, welche in der Mitte einer kegelförmigen Höhlung einer Agatkugel auf dem Boden des Gefäßes ruht, das aus Glas oder Holz bestehen kann. Das obere Ende des Magnetes wird in senkrechter Stellung durch ein dünnes Holzstück gehalten, welches quer über den oberen Theil des Gefäßes geht und gegen dessen Seiten ruht, indem es ein Loch hat, durch welches der Magnet frei hindurchgeht. Ein Stück Federkiel ist an das obere Ende des Magnetes angebracht, so daß es als eine Schale oder Behälter zur Aufnahme eines kleinen Betrages Quecksilber dient. In dies Quecksilber wird das untere Ende eines Drahtes eingebracht, welcher amalgamirt ist, um eine voll=

ständige metallische Berührung zu erhalten, während das obere Ende in eine Schale endigt, die eine kleine Quecksilberkugel enthält, damit eine Verbindung mit einem der Pole der Volta-schen Batterie gebildet werde. Ist das Gefäß mit Quecksilber gefüllt, so daß die untere Hälfte des Magnetes bedeckt wird, so wird die galvanische Kette vermittelst eines dicken Kupferdrahtes vervollständigt, der von dem Boden des Geschirrs ausgeht, durch die Seite herauskömmt und sich mit einer andern Schale endet, die einen kleinen Betrag Quecksilber enthält, wodurch eine Mittheilung mit dem andern Pol der Batterie hergestellt werden kann. Sobald diese Verbindung ausgeführt ist, beginnt der Magnet sich um seine Achse mit großer Geschwindigkeit zu drehen und die Drehung geht fort, so lange die Verbindungen mit der Batterie bewahrt werden und die Batterie ihre Kraft behält.

69. In dem ursprünglichen Versuch von Ampère war dem Magnet gestattet, ohne Stütze in dem Quecksilber zu schwimmen, indem er in scheitelrechter Stellung durch ein an das untere Ende geheftetes Platinagewicht gehalten wurde. Diese Hinzufügung zur ganzen zu bewegenden Masse verursacht eine große Verminderung der Wirkung, so daß die oben beschriebene Vorrichtung eine weit größere Geschwindigkeit der Bewegung durch dieselbe galvanische Kraft erzeugt.

70. Dieselbe Erscheinung ist auf verschiedene Weise gezeigt worden. Der Grundsatz, worauf sie beruht, besteht darin, daß die elektrische Strömung nur durch die obere Hälfte des Magnetes absteigen muß, so daß sie ausschließlich auf den Pol in dieser Hälfte wirkt, nachher vom Magnet abgeleitet und in solcher Richtung weggeführt wird, daß sie keinen Einfluß auf den untern Pol des Magnetes übt. In dem oben beschriebenen Versuch geht der elektrische Strom, nachdem er die obere Hälfte des Magnetes durchzogen hat, in das Quecksilber über, wird durch dasselbe verbreitet, wirkt in keinem merkbaren Grade auf den untern Pol und wirkt nicht auf die Umdrehung ein, welche sein Einfluß auf den obern Pol erzeugt. Es gibt jedoch Umstände, die in Erklärung dieses Versuches zu berücksichtigen sind und die jetzt nicht leicht verständlich gemacht werden können, die wir aber später darlegen werden.

71. Derselbe Zweck wird auf folgende Weise durch eine Vorrichtung erreicht, welchen Fig. 43, im Durchschnitt Fig. 44. darstellt. Ein Magnet, an beiden Enden gespitzt, wird unten von einer Agatschale gehalten, die auf einem aus dem Boden des Gestells hervorgehenden Stiele ruht; die obere Spitze wird leicht durch eine Schraube mit einem flachen und runden

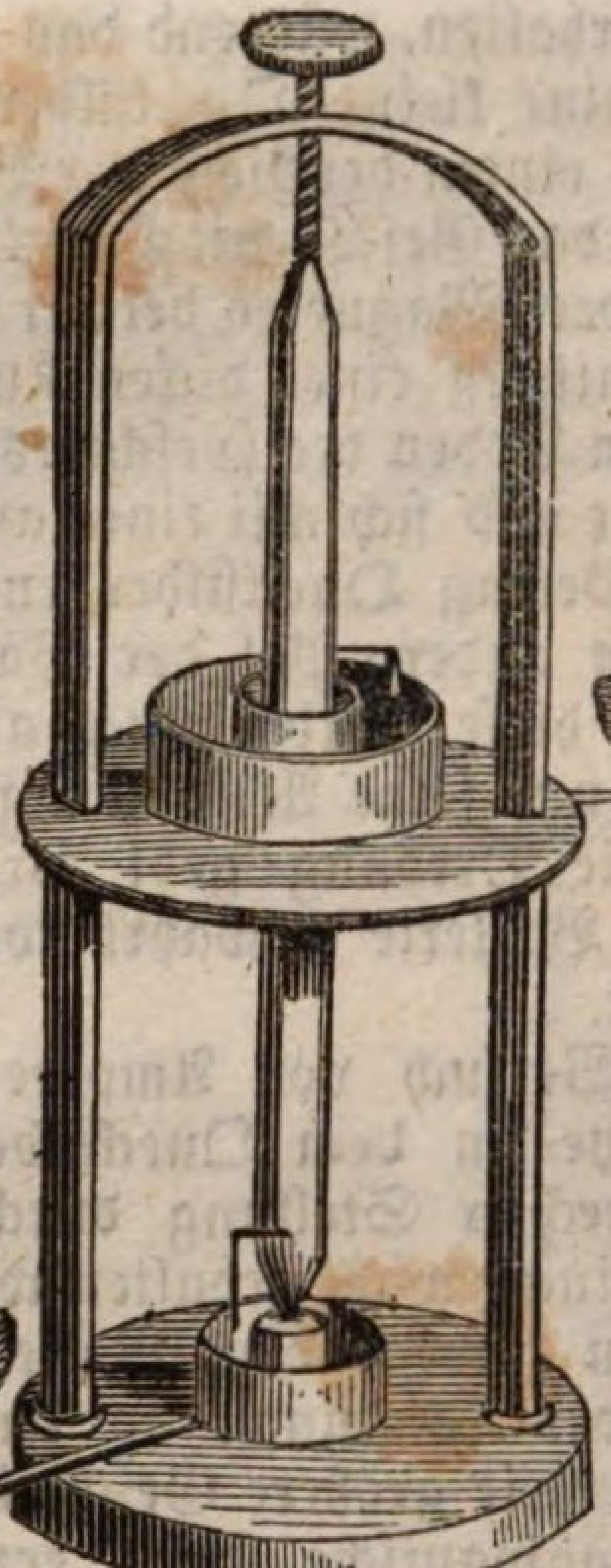


Fig. 43.

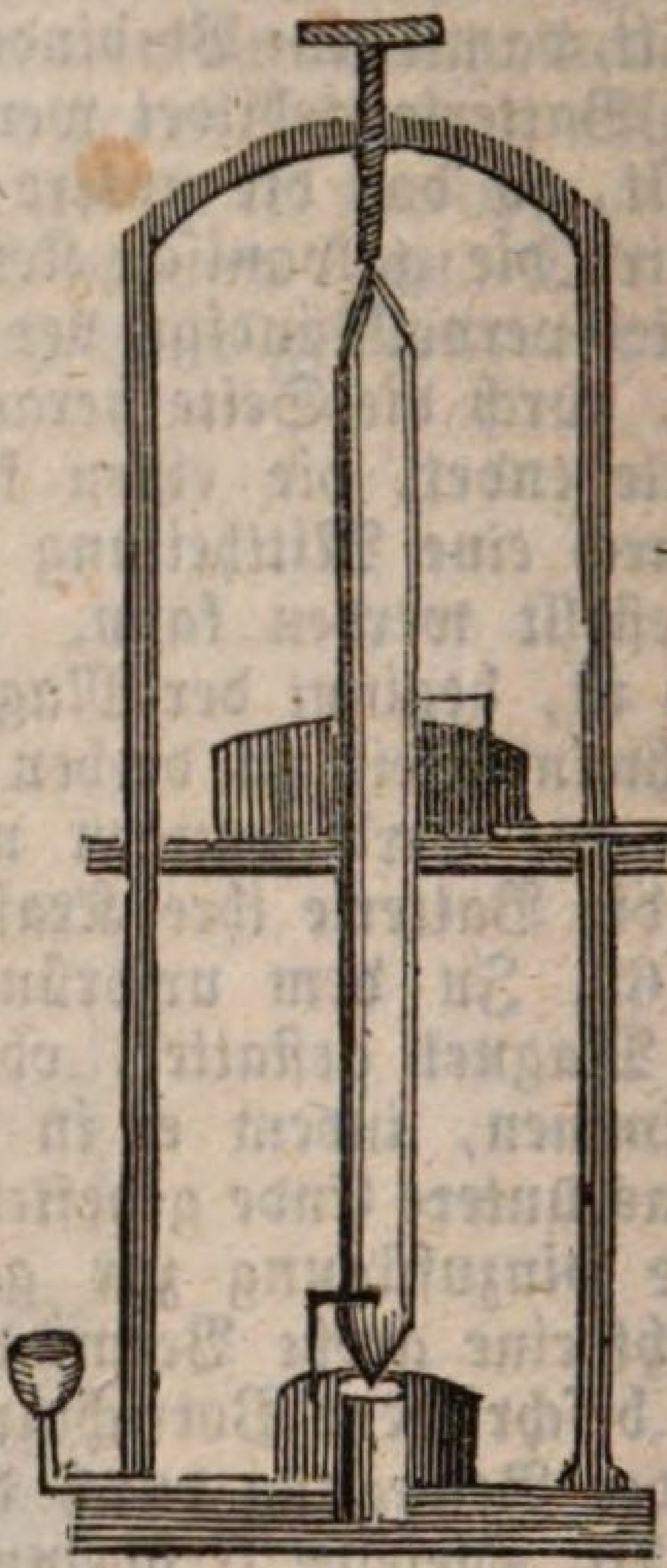


Fig. 44.

Kopfe gedrückt, der durch eine Schraubenmutter an der Spitze eines gewölbten Balkens geht, welcher einen Theil des haltenden Rahmwerks der Vorrichtung bildet. Nahe an der Mitte des Magnetes trägt diese Rahmen ein Gerüst in der Form eines Ringes, durch dessen Mittelpunkt der Magnet frei geht und welches einen runden Behälter voll Quecksilber hält, welcher ebenfalls den Magnet umgibt, ohne ihn zu berühren. Ein ähnlicher Quecksilberbehälter umgibt den unteren Stiel, welcher die Agatschale hält. Ein Kupferdraht, der in das Innere eines jeden dieser Behälter vorragt, geht durch die Seiten und endigt, nach oben gebogen, in einer kleinen Schale mit ein wenig Quecksilber, um die Verbindung zwischen der Volta'schen Säule durch Drathe in der gewöhnlichen Weise herzustellen. Ein kleiner, gespitzter und am Ende amalgamirter Draht ist an die Mitte des Magnetes unmittelbar über dem Behälter angeheftet und so gebogen, daß er gerade in das Quecksilber des Behälters eintaucht. Ein ähnlicher von dem unteren Ende des Magnetes aus=

gehender Draht taucht in das Quecksilber im unteren Behälter ein. Da nur die untere Hälfte des Magnetes dadurch einen Theil der galvanischen Kette bildet, welche von einer Schale durch den Behälter Quecksilber, durch den zum Magnet gehörigen Draht, durch den Magnet selbst, durch den andern Draht, durch den andern Quecksilberbehälter und den Draht forttläuft, der in der andern Schale endet — so empfängt nur die untere Hälfte des Magnetes den Einfluß des hindurchgehenden Stromes und beginnt sich mit großer Geschwindigkeit um die Achse zu drehen, welche durch die oberen und unteren Stützungspunkte gebildet ist. Der Grad Umdrehung wird sehr von der Zartheit der Aufhängung des Magnetes abhängen, so daß die Reibung an den Spitzen so klein wie möglich ist.

72. Man hat vorgeschlagen, eine hinzugfügte Drehungskraft bei einem großen Magneten dadurch zu erhalten, daß man einen zweiten elektrischen Strom aus einer zweiten Batterie die obere Hälfte des Magneten entlang leitet, jedoch in einer Richtung, die derjenigen entgegengesetzt ist, welche durch den untern Pol hindurch geht; dies läßt sich gewiß dadurch bewirken, daß man den flachen runden Kopf der scheitelrechten Schraube entfernt und seine Stelle durch eine kleine Schale zu Enthaltung des Quecksilbers ersetzt, und daß man ferner sorgfältig das untere Ende der Schraube, wo sie den Magnet berührt, amalgamirt. Da jedoch die Drehungskraft im Verhältniß zur Stärke der gebrauchten Volta'schen Batterie steht, so ist sehr zu bezweifeln, ob die zweite bei dieser letzteren Methode erheischte Batterie nicht gleich wirksam sein würde, wenn man sie bei Vermehrung der Kraft der ersten Batterie brauchte, indem man sie in der früheren Weise den Versuch zu leiten, damit verbände.

73. Nachdem man so den Magnet um seine Achse hat drehen lassen, bestand der nächste Zweck darin, daß man in gleicher Weise die Umdrehung eines leitenden Körpers um die Achse bewirkt. Wie im frühern Fall war es nothwendig, elektrische Wirksamkeit auf das Innere des Magnetes anzuwenden; somit mußte man ein Mittel aussinnen, um sich die Wirksamkeit des Magnetes von dem Innern des leitenden Körpers her zu verschaffen; deßhalb mußte man den Draht entlassen und statt dessen einen hohlen Metallcylinder anwenden, welcher den Pol eines Magnetes in seiner Achse empfangen konnte.

Eine solche Vorrichtung, welche Barlow erfand, ist Fig. 45 gezeigt, welche einen Durchschnitt der Vorrichtung darstellt. Ein Stangenmagnet ist aufrecht auf einem festen Gestell

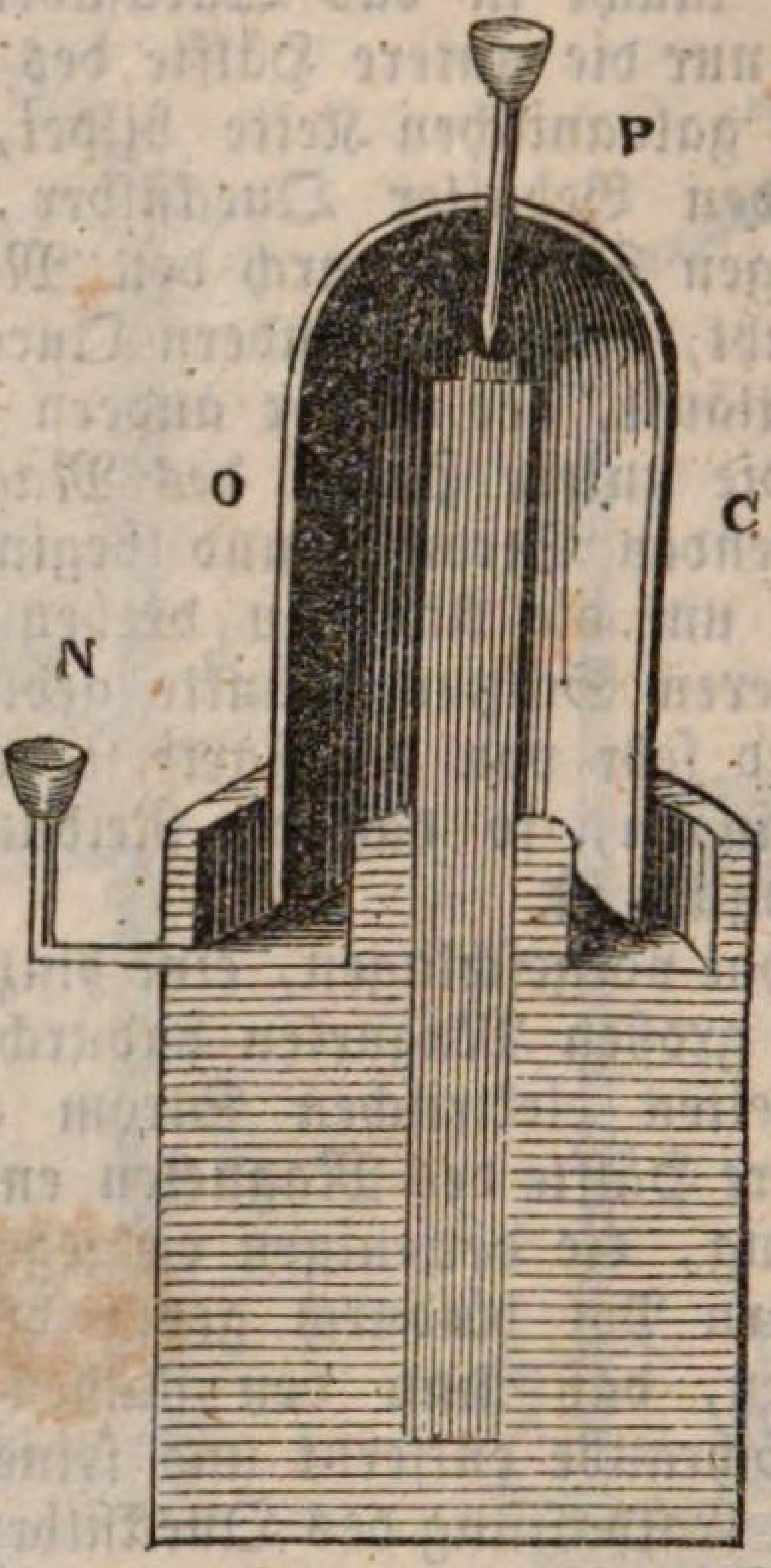


Fig. 45.

befestigt, welches eine zu seiner Aufnahme passende Höhlung hat, und welches auch eine runde Mulde voll Quecksilber enthält, das den Magnet wie in den frühern Fällen umgibt. CC ist ein leichter, hohler Kupfercylinder, dessen unteres Ende in das Quecksilber der Mulde taucht; der obere Theil ist von einem Bogen desselben Metalls gehalten, aus dessen Mitte ein Draht mit Stahlspitze geht, der so nach unten läuft, daß er in einer Agatkappe auf der Spitze des Magnetes ruht, und welcher auch aufwärts geht und mit einer kleinen Schale P endet, die etwas Quecksilber enthält, um eine Mittheilung mit der Volta'schen Batterie zu bilden. Ein Draht geht von der Innenseite der Mulde und ist aufwärts beim Herausgehen gebogen, so daß er mit einer anderen Schale mit Quecksilber N endigt, um die Verbindung mit dem andern Pol der Batterie herzustellen. Es ist offenbar, daß der elektrische Strom, den wir uns vom positiven Draht der Batterie, welcher in die Schale P eingeführt ist, absteigend denken können, am Uebergang von dem Magnete durch das Zwi-

schenliegen der Agatkappe verhindert, keinen andern Kanal finden kann, wie den Kupfercylinder, an dessen Seite er in das Quecksilber der Mulde absteigen wird, und daß er von dort, indem er von dem Draht unten herausgeht, durch die Schale N gelangt und von dem Draht aufgenommen wird, der mit dem negativen Ende der Batterie in Verbindung steht. Der Cylinder läßt sich deßhalb betrachten, als bestehe er aus einer Ansammlung von Paralleldrahten, von denen jeder von dem Pol des Magnetes im Innern einen Anstoß erhält, sich in paralleler Richtung mit sich selbst zu bewegen. Die an den entgegengesetzten Seiten des Magnetes werden angetrieben werden, sich in entgegengesetzter Richtung zu bewegen. Da aber ihre Kräfte auf entgegengesetzten Seiten der Bewegungsachse thätig sind, so werden sie sämmtlich an der Drehungswirkung Theil haben. Der ganze Cylinder beginnt deßhalb sich sogleich umzudrehen, wie der elektrische Strom hindurchgesandt wird; da der Widerstand, auf den er trifft, nur unbedeutend ist, so wird die Schnelligkeit bald beträchtlich. Nach Allem, was früher gesagt worden ist, braucht man wohl kaum hinzuzufügen, daß der Lauf der Bewegung von der Linken zur Rechten geht, wenn der elektrische Strom vom Cylinder absteigt und wenn der eingeschlossene Theil des Magnetes der Nordpol ist.

74. Die Bewegung wird umgekehrt, wenn eine dieser Bedingungen umgekehrt wird. Dies läßt sich in den beiden Polen desselben Magnetes zweckmäßig erläutern, wenn man einen Hufmagnet braucht, der scheitelrecht auf ein Gestell, wie Fig 46 zeigt, gestützt ist. Zwei hölzerne runde Mulden werden auf die Arme des Magnetes durch Schrauben befestigt. Diese Mulden enthalten Quecksilber, in welches der obere Rand des hohlen Cylinders eintaucht; der obere Theil jedes Cylinders ist als eine halbkreisförmige Schale gebildet, durch die in der Mitte ein spitzer Draht hindurchgeht, der unten in einer kleinen Höhlung in der Mitte des Endes des Magnetes ruht, welcher im Cylinder enthalten ist und an seinem oberen Ende eine kleine Schale für Quecksilber hat. Zwei andere Schalen, die ebenfalls einen kleinen Theil Quecksilber enthalten, ruhen auf dem äußeren Ende gebogener Drahte, welche durch die Seiten der runden Mulden in das dort befindliche Quecksilber gehen. So wird eine fortwährende Metallverbindung von einer Schale zur andern auf jeder Seite durch einen jeden Cylinder hergestellt, welcher die verschiedenen Pole des Magnetes umgibt. Wenn ein Strom Elektrizität aus einer Volta'schen Batterie in derselben Richtung in beiden Cylindern hindurchgeht, so werden sich

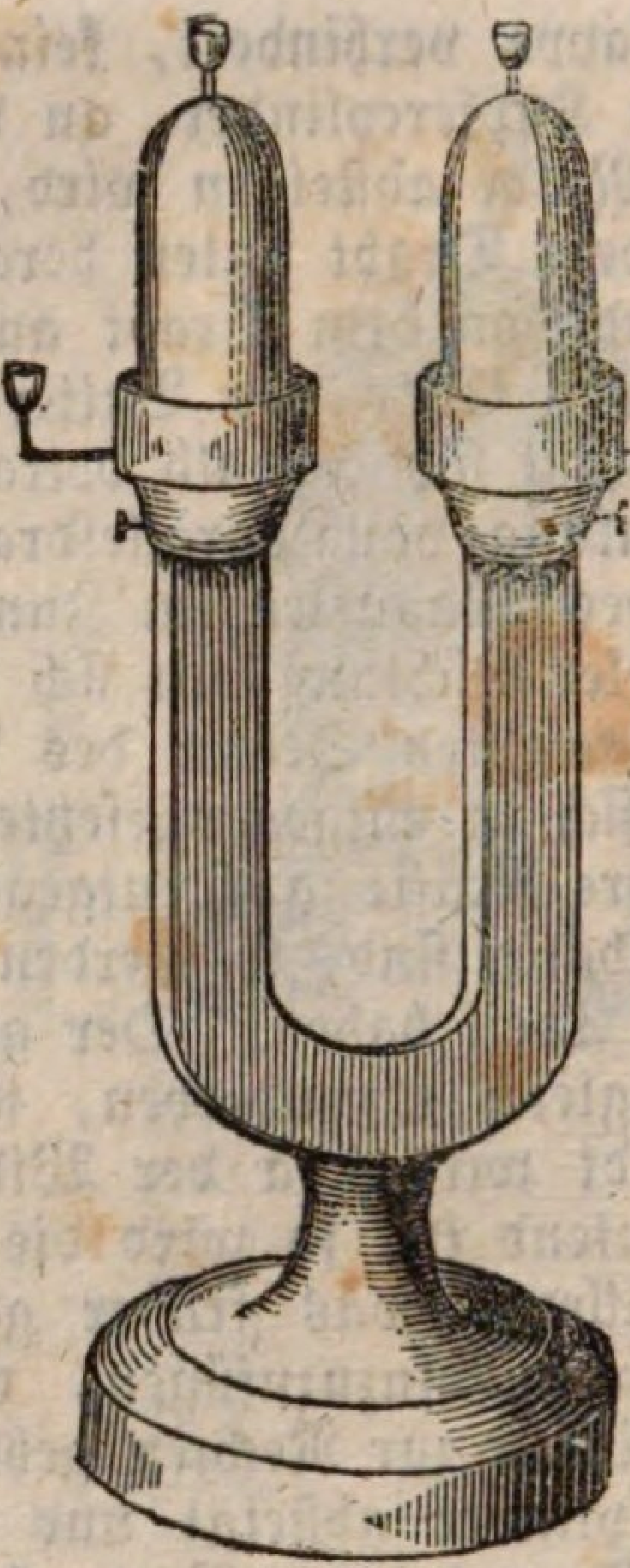


Fig. 46.

dieselben in entgegengesetzten Richtungen umdrehen, indem sie in entgegengesetzter Weise von den zwei Polen, welche sie umgeben, Einfluß erlangen; werden aber die zwei oberen Schalen durch einen kurzen Draht vereinigt, der seine zwei Enden in das in denselben enthaltene Quecksilber taucht, und werden die unteren Schalen, die eine mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pole der Batterie verbunden, so wird derselbe Strom auf beiden Seiten der Vorrichtung hindurchgehen, indem er aufwärts in einen Cylinder und abwärts in den andern geht, und die daraus entstehenden Umdrehungen werden jetzt wegen des entgegengesetzten Einflusses der Pole in derselben Richtung an beiden Cylindern sein.

75. Die Umdrehung eines leitenden Körpers um seine Achse, wie sie in §. 73 dargelegten Versuchen gezeigt wird, erläutert beträchtlich die Umstände des vorher beschriebenen Versuches, worin man einen Magnet sich um seine Achse drehen ließ, denn die Erklärung dieses Versuches wird sehr von dem Laufe abhängen, den wir uns als bei dem Durchgange des elektrischen Stromes durch den Magnet ge-

nommen denken. Nähmen wir an, er gehe durch das Innere des Magnetes, d. h. seine Achse und die umliegenden Theile entlang, so würde er Umdrehung durch seinen Einfluß auf die Theile des Magnetes bewirken, die seiner Oberfläche näher und weiter von der Achse entfernt liegen. Denken wir uns andererseits, der Lauf der elektrischen Flüssigkeit sei beinahe oberflächlich, so wird er selbst Einfluß durch die Polarität derjenigen Theile des Magnetes erleiden, welche nahe an der Achse liegen, und die ihm mitgetheilte Neigung zur Drehung wird die Drehung des Magnetes erzeugen, welcher natürlich mit ihm fortgetrieben wird. Bei letzterer Voraussetzung wird er dem Versuch von §. 73 mit allen Einzelnheiten entsprechen, in welchem der leitende Körper zur Umdrehung durch den Einfluß eines in ihm gelegenen magnetischen Poles gezwungen wird, mit dem Unterschiede jedoch, daß der Magnet und der leitende Körper im ersteren Falle ein und derselbe waren, während sie im letzteren verschieden und getrennt waren. Faraday jedoch hat bewiesen, der Umstand, daß der Magnet und Leiter unbeweglich verbunden werden, mache keinen Unterschied im Ergebniß. So sei der Magnet, welchen der Durchschnitt Fig. 47 zeigt, am unteren Ende mit einem

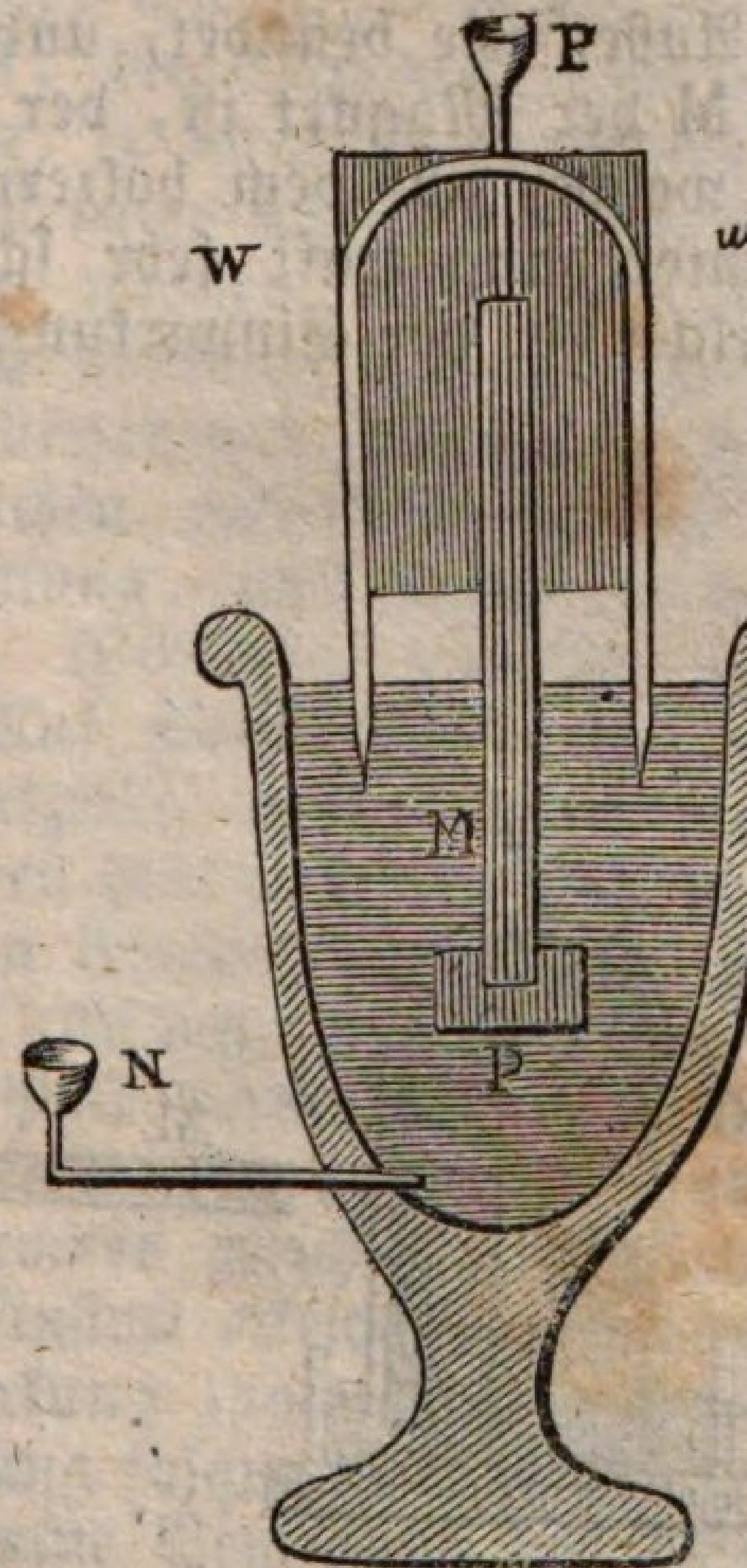


Fig. 47.

Platinagewicht beschwert, am oberen auf ein Stück Karte oder Holz befestigt, welches zwei Verzweigungen eines starken Drahtes W W hat, der von dem oberen Rand an den zwei scheitelrechten Rändern herabgeht und sich unten in Spitzen endet, so daß das Ganze in scheitelrechter Stellung in einem Gefäß mit Quecksilber schwimmen kann, von dessen Boden ein Draht ausgeht, der die Schale N hält; eine andere Schale P stehe auf dem oberen Rande der Drahte W W. Der ganze bewegliche Theil dieser Vorrichtung wird sich durch die Hindurchsendung einer elektrischen Flüssigkeit durch die Drahte umdrehen, wenn man die gehörigen Verbindungen mit einer Volta'schen Batterie durch die zwei Quecksilber enthaltenden Schalen herstellt. Dieser Versuch ist in so weit wichtig, da er darzuthun scheint, die Wirkung sei dieselbe, ob der Magnet, von welchem sie ausgeht, in Bewegung sein mag oder nicht. Wir werden jedoch Gelegenheit haben, später auf eine andere Erklärungsweise hinzuweisen, die aus einem verschiedenen Gesichtspunkt des Gegenstandes hervorgeht.

77. Andererseits wenn ein hohler Metallcylinder auf einer Spitze am oberen Ende einer scheitelrechten Achse von Holz schwebend, während das untere Ende in eine Mulde voll Quecksilber eintaucht, die Einwirkung von einem Pole des Magnetes erhält, der sich auf der Außenseite befindet, und genähertwird, wie Fig. 48 zeigt, wo M der Magnet ist, der an den Cylinder C gebracht wird, welcher auf dem hölzernen Ständer S schwebt, so ist die Umdrehungskraft sehr schwach mit derjenigen verglichen, welche bei der Einwirkung des Magnetes

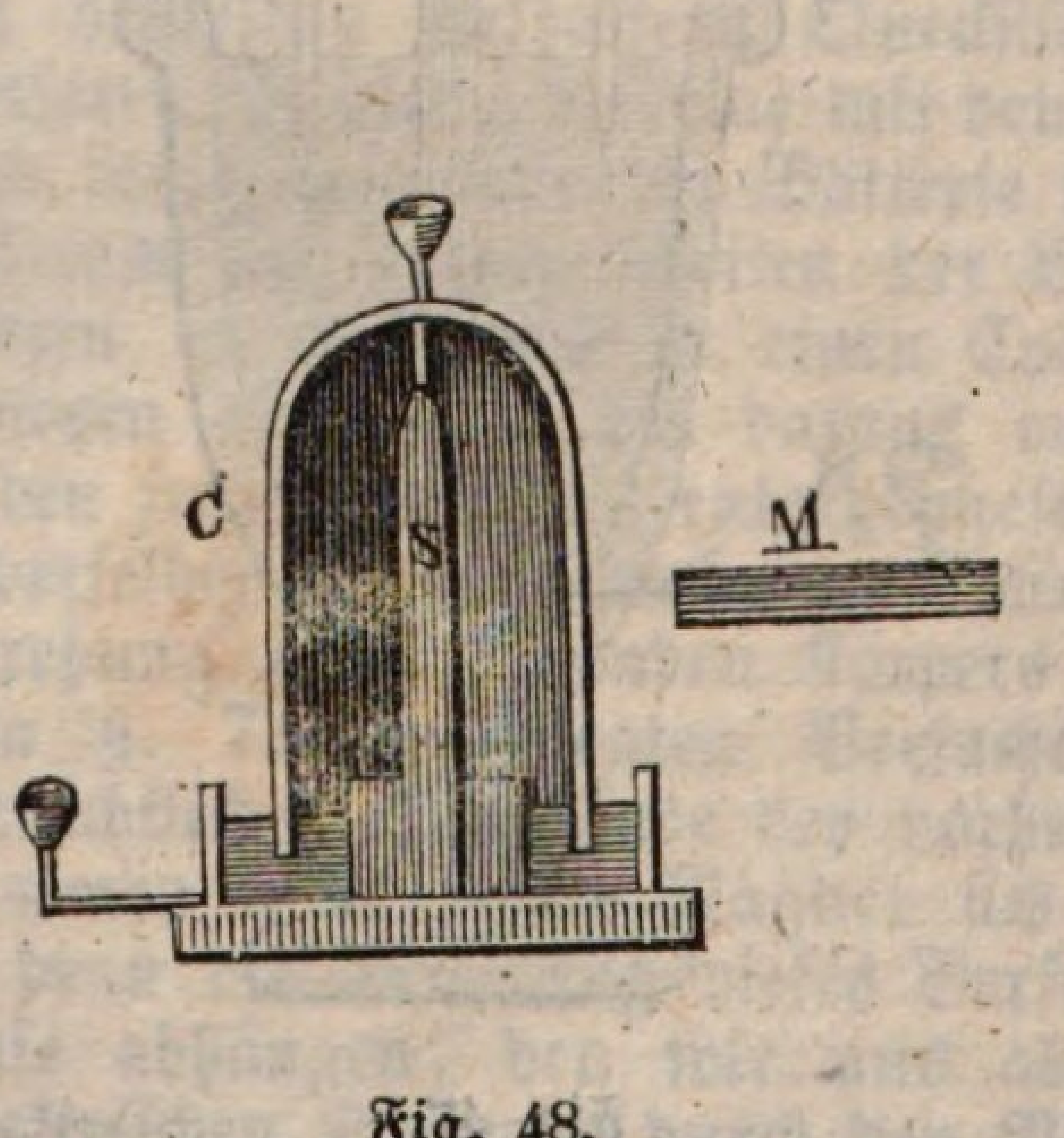


Fig. 48.

innerhalb des Cylinders stattfindet. Der Grund liegt darin, daß eine Neigung zur Bewegung in entgegengesetzten Richtungen hinsichtlich des Mittelpunkts der Bewegung sich in denjenigen Theilen des beweglichen Leiters, welche von dem Magnet am entferntesten liegen, und in denjenigen, die ihm am nächsten liegen, vorfindet; ist der Leiter cylindrisch und der Strom auf jeder Seite gleich vertheilt, so muß er sich genau im Gleichgewicht halten. Dies wird offenbar sein, betrachten wir, daß diese letzteren Theile zwar in Folge ihrer größeren Nähe zum Magnet eine stärkere Einwirkung erleiden, daß dieser Vortheil aber durch die größere Ausdehnung des Theiles auf der entfernten Seite ausgeglichen wird, welcher eine schwächere Einwirkung erleidet. Dies Gleichgewicht wird aber nicht fortbestehen, wenn der elektrische Strom ungleich vertheilt ist, wie dies gewöhnlich vorkömmt; im Fall er z. B. nur eine Seite entlang geht, dreht sich der Cylinder, wenn der Magnet ihm an der Seite entgegengesetzt ist.

78. Aus dem §. 37 berichteten Versuch ergibt es sich, daß der elektromagnetische Einfluß des Leiters ebenso stattfindet, wenn der Strom der Elektrizität über eine beträchtliche Oberfläche verbreitet ist, wie wenn er sich in einem dünnen Draht conzentrirt findet; die Wirkung wird natürlich im Verhältniß schwächer sein, je mehr sie verbreitet ist; kann aber das Ganze dieser zerstreuten Kräfte auf die Hervorbringung einer Wirkung gerichtet werden, so ist der Betrag derselbe, als seien sie in einem kleineren Raume zusammengedrängt. So leitet jede Faser derjenigen, in welche man sich die Cylinder bei diesen Versuchen aufgelöst denken kann, ihren Theil elektrischer Strömung, und trägt zu der Erzeugung einer gemeinschaftlichen Wirkung, nämlich der Umdrehung des Cylinders bei Auf gleiche Weise hat man gefunden, daß der Strom Elektrizität, welcher durch die Volta'sche Batterie selbst vom negativen zum positiven Pole hindurchgeht, dieselben elektromagnetischen Eigenschaften zeigt, wie bei seiner Strömung den Draht entlang, der die Kette vervollständigt, indem er die zwei Pole verbindet; eine Magnetnadel nämlich in Nähe der Batterie und unter Umständen, welche für die Wirkung des Stromes gleich günstig sind, gestellt, wird in derselben Weise Einfluß erleiden, wie durch den Draht selbst. Da nun jede Wirkung zugleich auch eine entsprechende und gleiche Gegenwirkung folgen läßt, so ist der Schluß vernünftig, wie die Batterie eine Bewegung des Magnetes erzeuge, so erzeuge der Magnet eine Bewegung in der Batterie, welche sichtbar werden könnte, wenn eine genügend zarte Aufhän-

gung sich für letztere ersinnen ließe. Bei einer zusammengesetzten Batterie jeder Größe würde dies kaum sichtbar sein; vermindert man sie aber auf eine einzige Platte, indem man sie so leicht wie möglich macht, und sie auf einer einzigen Spitze in der Weise hält, wie der Cylinder beim letzten Versuch gehalten wird, so läßt sich dies nach einem Versuch Ampère's ausführen.

79. Die zu dem Zweck gebrauchte Vorrichtung ist Figur 49 im Durchschnitt dargestellt. Sie besteht aus einem doppelten Kupfercylinder CC, von 2½″ Durchmesser, und derselben Höhe, der am Boden geschlossen ist, so daß er ein Geschirr zu Enthaltung verdünnter Säure bildet. Das

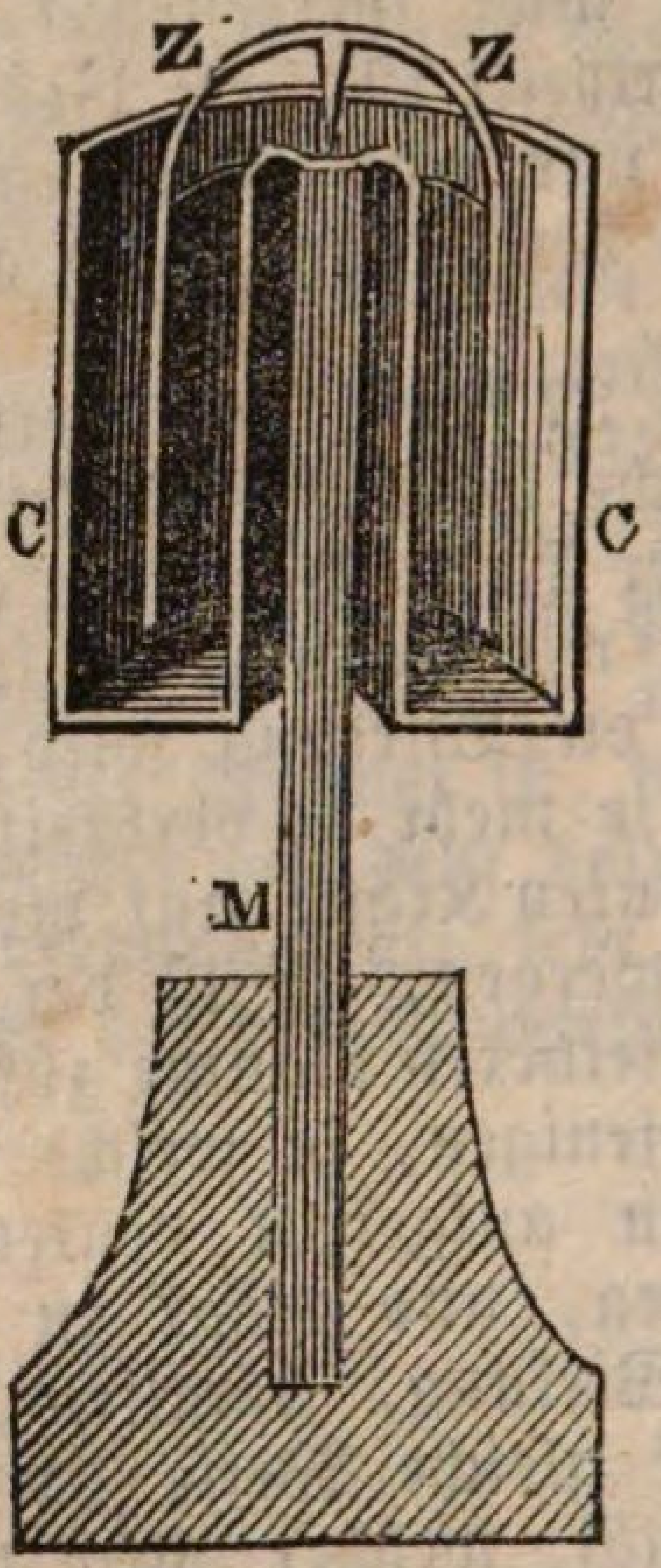


Fig. 49.

Ganze ist durch eine gewölbte Metallplatte gehalten, welche quer über die obere Oeffnung des inneren Cylinders am oberen Ende eines starken Magnetes M geht, welcher durch die Mitte des Cylinders eingeführt wird. Ein Zinkcylinder ZZ, so leicht wie möglich und von einem gewölbten Draht A gehalten, der eine Stahlspitze hat, welche von der Mitte seiner Krümmung abwärts geht, wird zwischen die zwei Platten des doppelten Kupfercylinders eingebracht, so daß die Stahlspitze auf der gewölbten Platte des inneren Cylinders ruhen und in dieser Stellung schwebend bleiben kann.

Bringt man verdünnte Säure in das Kupfergeschirr, so beginnt sogleich eine galvanische Wirkung; der elektrische Strom geht vom Zink zur Säure über, und steigt vom Kupfer durch den Zapfen wieder zum Zink zurück; deßhalb befindet sich das Zink in der Lage eines Leiters, welcher einen Strom Elektrizität nach unten führt, und unter dem Einfluß des magnetischen Poles, den es umgibt. Folglich wird es sich mit beschleunigter Geschwindigkeit umdrehen, welche zuletzt gleichförmig durch die Reibung der Flüssigkeit wird.

Barlow gibt an, daß er oft mit dieser einfachen Vorrichtung eine Geschwindigkeit von 120 Umdrehungen in der Minute hervorgebracht hat.

80. Die so eben dargelegte Theorie ist durch eine Hinzufügung zu der Vorrichtung von Marsh erläutert; dieselbe besteht in einer zweiten Stahlspitze, die unter dem oberen Theil des Bogens befestigt ist, der den Kupfercylinder hält; das Kupfergefäß läßt sich selbst vermittelst dieser Spitze oben auf dem Magnet im Gleichgewicht halten, während die cylindrische Zinkplatte auf der ersteren im Gleichgewicht gehalten wird, und so kann sich eine jede auf ihrem Mittelpunkt unabhängig von der anderen umdrehen. Diese Anordnung ist im Durchschnitt Fig. 50 gezeigt. So wie die

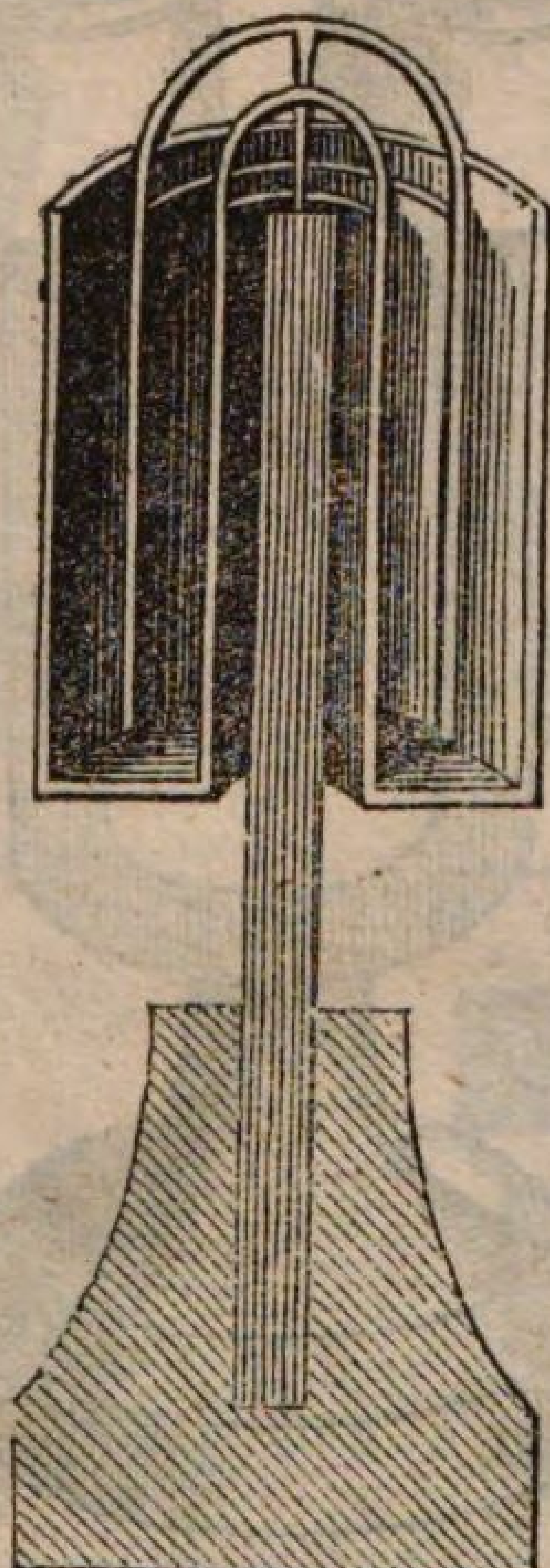


Fig. 50.

elektrische Flüssigkeit in dem Kupfercylinder aufsteigt, während sie vom Zink absteigt, wird der erstere durch den Magnet in seinem Inneren zu einer Umdrehung angetrieben, welche der des Zinkcylinders entgegengesetzt ist. Die Geschwindigkeit des Kupfergefäßes ist jedoch weit geringer, wie die des Zinkes, nicht allein wegen größerer Schwere und weil es den ganzen Betrag der Säure trägt, sondern auch dadurch, daß die Reibung seines Zapfens durch das Gewicht der Zinkplatte gesteigert wird, dessen Zapfen es zu halten hat. In dieser doppelten Umdrehung wird ferner die Geschwindigkeit der Zinkplatte durch den vermehrten Widerstand aufgehalten, der ihr durch die Flüssigkeit geboten wird, welche sich in entgegengesetzter Richtung bewegt.

81. Watkins hatte eine Vorrichtung dieser Art auf jeden Pol eines Hufmagnetes angewandt, welcher in einem Metallgestell an seinem gebogenen Theil befestigt war, wie Fig. 51 zeigt. Die oberen Ende des Magnetes sind mit Achatschalen zum Empfang der Stahlspitzen versehen, wor-

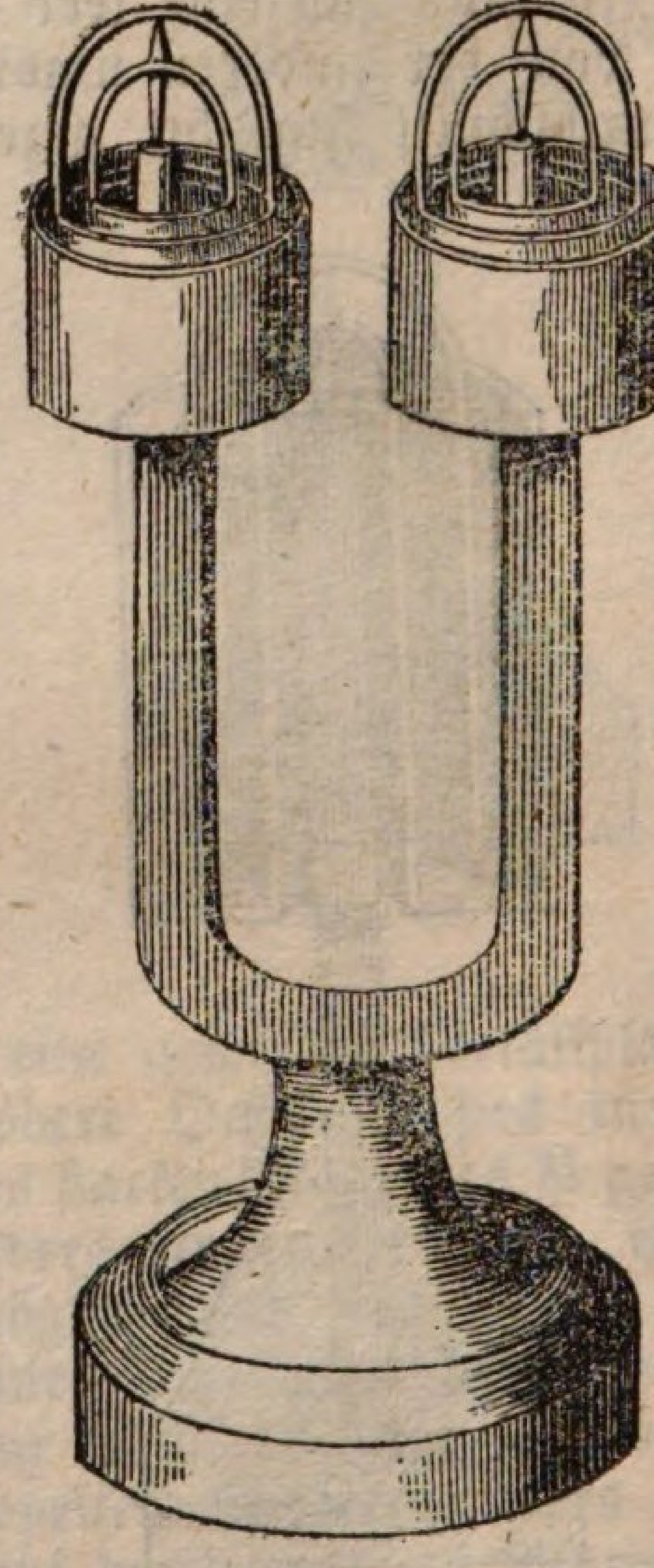


Fig. 51.

auf die Vorrichtung gehalten ist. Der Draht selbst geht durch den auf das Kupfergefäß gehefteten Bogen, und endigt auch am oberen Ende mit einer Spitze, so daß der mit der Zinkplatte verbundene Bogen darauf ruht. Wird die Vorrichtung in Wirksamkeit gebracht, indem man die Gefäße mit Säure beladet, so drehen sich die vier Cylinder auf ihren Achsen, indem die zwei Kupfercylinder sich in entgegengesetzten Richtungen, und die zwei Zinkcylinder in Richtungen drehen, die diesen entgegengesetzt und auch folglich einander entgegen sind; die Schnelligkeit der Umdrehung beruht auf der Kraft des Magnetes, auf der Kraft der verdünnten Säure und auf der Zartheit der Aufhängung.

82. Hufeisenmagnete können ebenfalls passend angewandt werden, um die Wirkungen beider Pole darin zu verbinden, daß sie einem Leitungsdrahte Bewegung ertheilen. Da die Wirkungen der zwei Pole in entgegengesetzten Richtungen auf ihren entgegengesetzten Seiten sind, so werden sie andererseits darauf einwirken, dieselbe Wirkung auf einen Draht, der zwischen ihnen sich befindet, hervorzubringen. So wird in Fig. 52 und 53 ein jeder der Leitungsdrahte p n p′ n′,

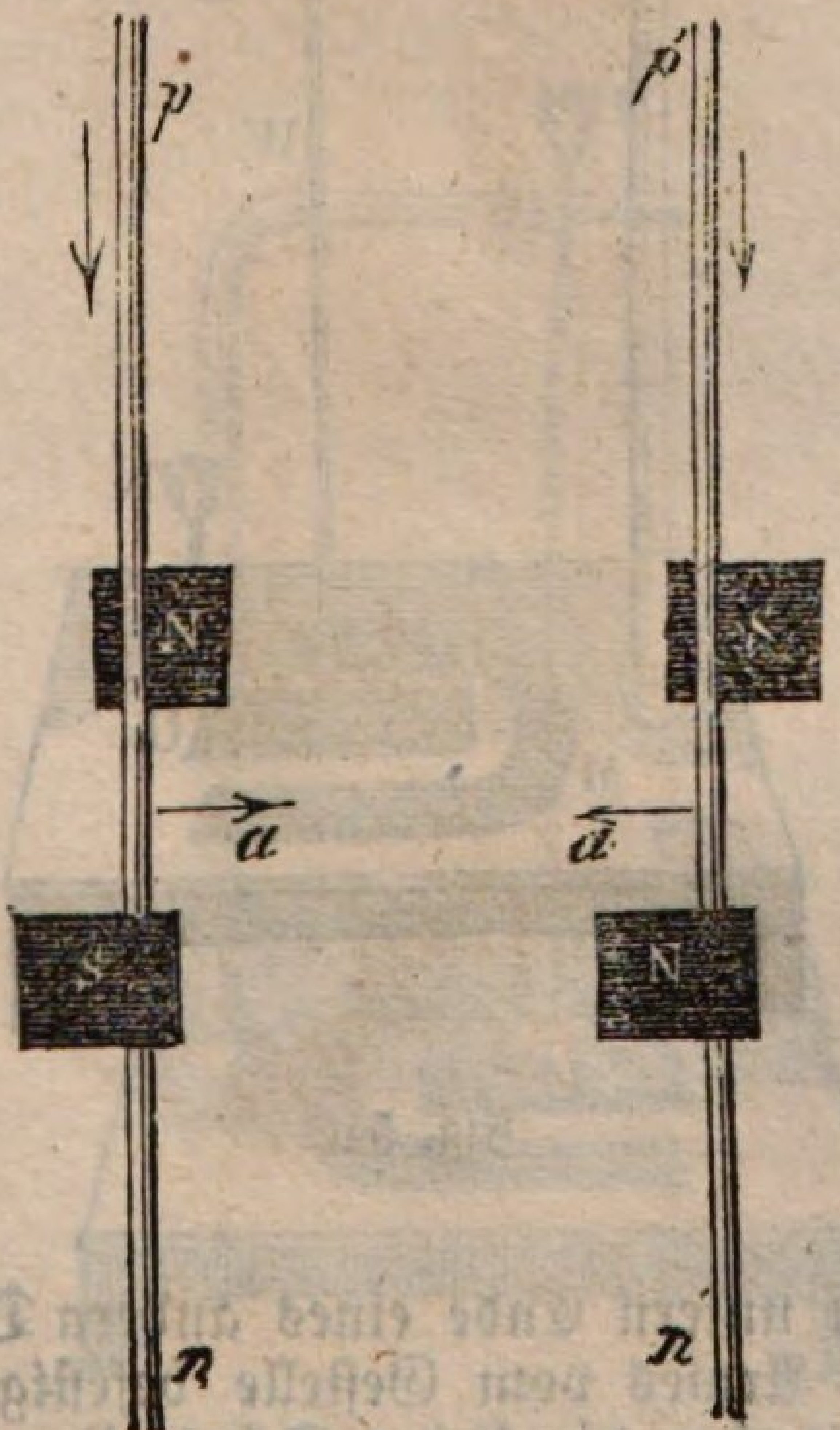


Fig. 52. Fig. 53.

worin der elektrische Strom von p nach s absteigt, wenn sie sich zwischen den magnetischen Polen N und S befinden, wovon der erstere der Nord-, der letztere der Südpol ist, und die man sich der Erläuterung wegen als isolirt denken kann, durch ihren vereinigten Einfluß angetrieben werden, sich parallel zu sich selbst und in der Richtung der Pfeile a a zu bewegen, d. h. von der Rechten zur Linken, wenn der Nordpol hinten und der Südpol vorn ist, wie in Fig. 52, und von der Linken zur Rechten, wenn die Pole in der entgegengesetzten Richtung stehen, wie in Fig. 53.

83. Mehre Versuche sind angestellt worden, um schwingende oder drehende Bewegungen verschiedener Art durch verschiedene Anwendungen dieses Grundsatzes zu erlangen.

Folgendes ist eine Erfindung von Marsh. Ein leitender Platinadraht W (Fig. 54) wird durch ein Oehr an einen

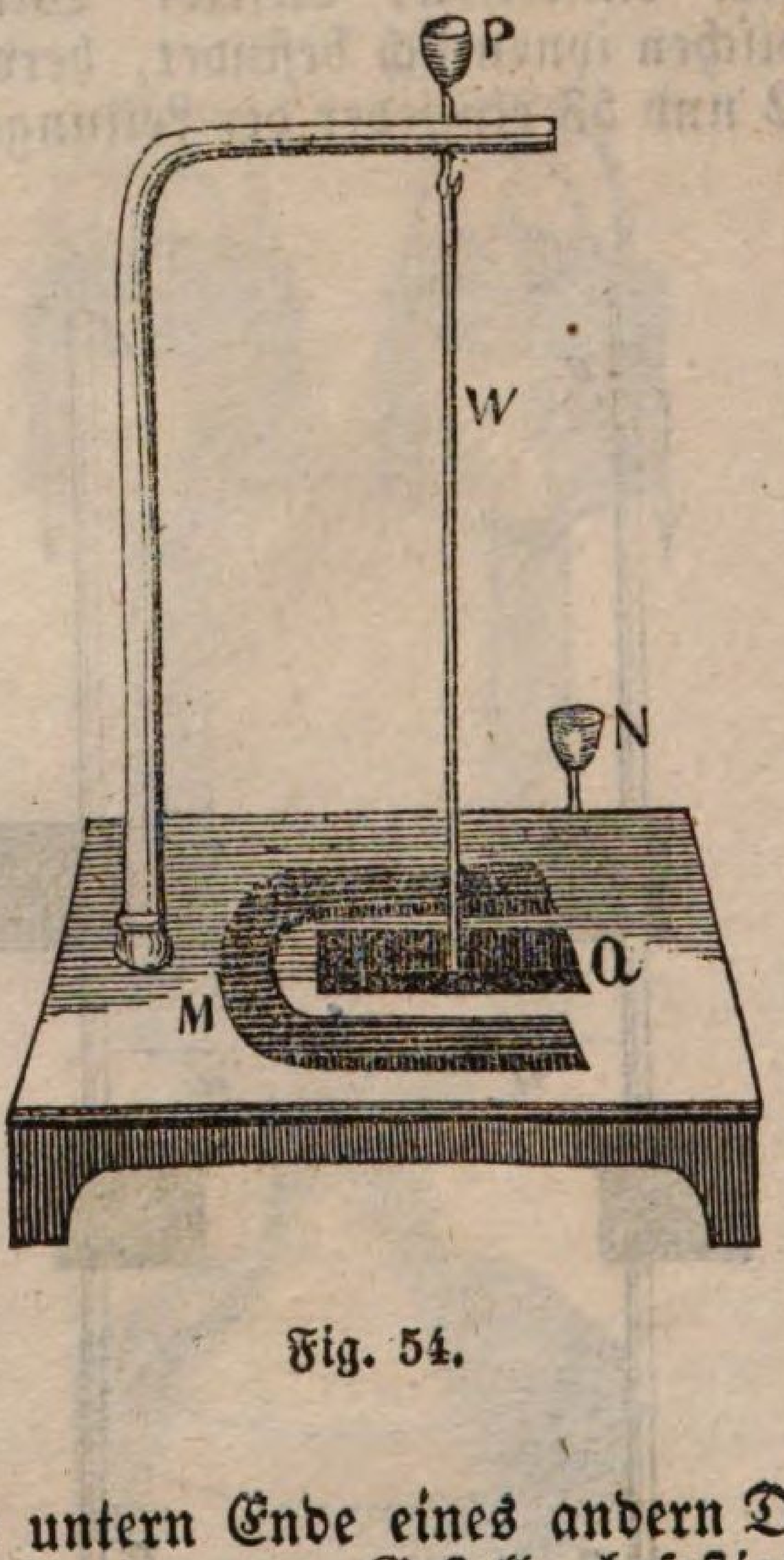


Fig. 54.

Metallhaken am untern Ende eines andern Drahtes, der an das Ende eines Armes vom Gestelle befestigt ist, gehängt. Das Gestell hält oben die kleine Schale P, um Quecksilber zu enthalten. Das untere Ende des Platinadrahtes, welcher

so frei hängt, taucht in einen kleinen Behälter von Quecksilber Q, welcher in der hölzernen Grundlage gebildet und gerade zwischen den zwei Polen eines Hufeisenmagnetes befindlich ist, der flach auf derselben Grundlage liegt.

Das Quecksilber in der Mulde befindet sich in elektrischer Verbindung mit einer andern Schale N vermittelst eines Drahtes, der an der Seite herausgeht und die Schale hält. Stellt man eine Mittheilung mit den beiden Enden der Volta'schen Kette vermittelst der Schalen her, so treibt der Strom, welcher den losen Platinadraht entlang geht, indem er Einfluß durch den Magnet erleidet, den Draht entweder vorwärts nach Q oder rückwärts nach M, je nach der Lage der Pole und der Richtung des Stromes. In beiden Fällen wird er aus dem Quecksilber geworfen, und da die Kette so unterbrochen ist, hört die Wirkung auf, bis der Draht wieder durch die eigene Schwere in das Quecksilber zurückfällt. Hierauf wird der Strom wieder hergestellt, derselbe Einfluß wird wieder geübt, die Erscheinung wird wiederholt und der Draht zeigt eine schnelle Aufeinanderfolge schwingender Bewegungen.

84. Diese wechselseitige Bewegung des Drahtes läßt sich in eine drehende verwandeln, wenn man ein gezahntes Rad, wie Figur 55 zeigt, an den unteren Theil des aufrechten

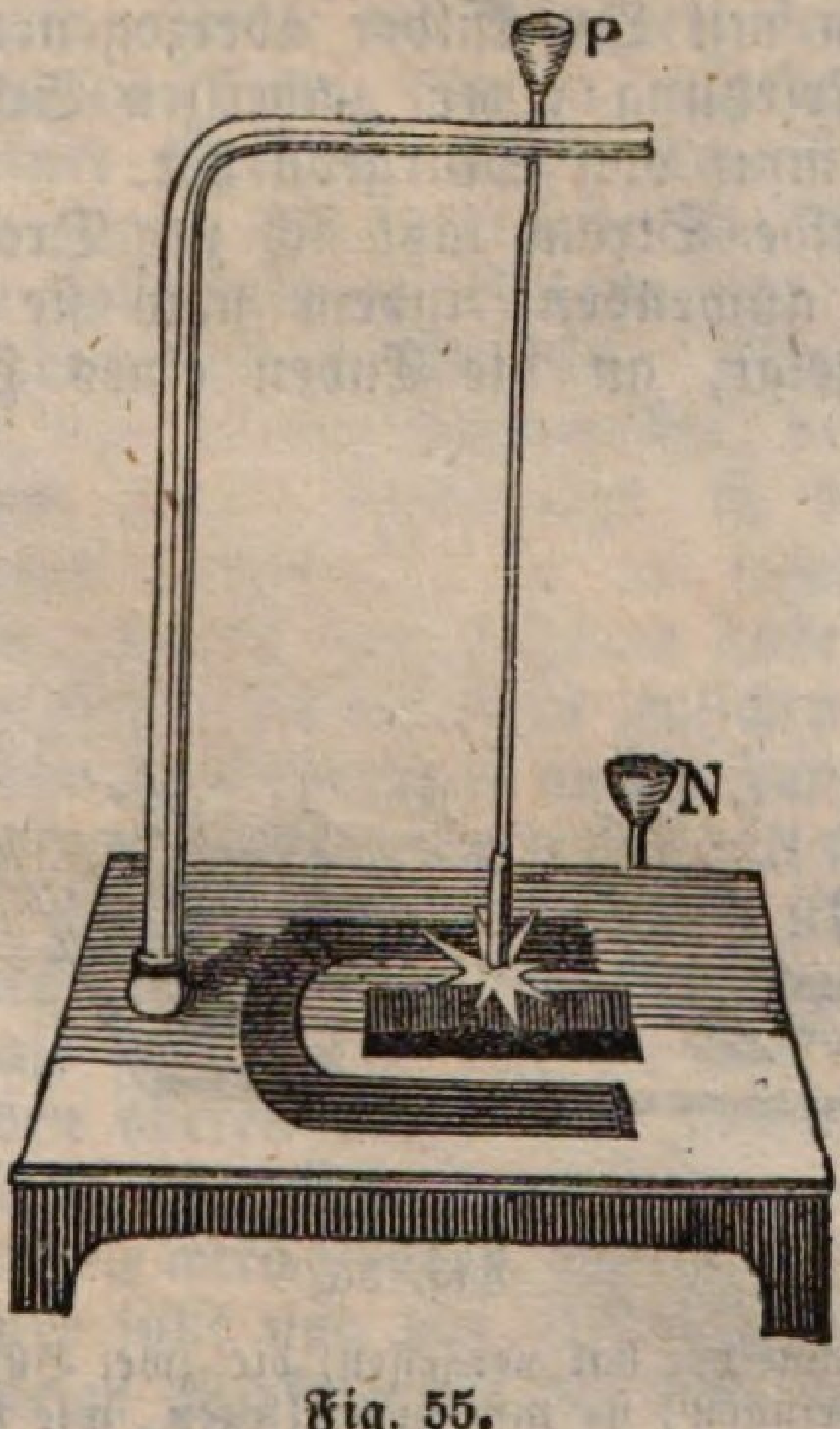


Fig. 55.

Drahtes bringt, welcher alsdann an den Arm der Säule fest angebracht sein muß. Das Rad, welches so verfertigt ist, daß es sich frei umdreht, wird sich mit großer Geschwindigkeit umdrehen, sobald seine Berührung mit der Batterie stattgefunden hat. Zu dem Zweck jedoch muß das Rad soweit in das Quecksilber eintauchen, daß einer seiner Radien die Oberfläche berührt, bevor der vorhergehende Radius das Quecksilber verlassen hat; die Richtung der Bewegung hängt natürlich von den schon erwähnten Bewegungen ab; Barlow bemerkt jedoch, daß der Versuch im Allgemeinen am besten gelingt, wenn das Rad sich einwärts dreht.

85. Man braucht jedoch nicht das Rad in Radien zu theilen, um die beschriebenen Wirkungen zu erzeugen, denn eine runde Metallscheibe an die Stelle des gezahnten Rades gesetzt, wird sich eben so gut umdrehen, wenn es von einem elektrischen Strome durchzogen wird, der in das Quecksilber zwischen den Polen eines Hufeisenmagnetes geht; zu dem Zweck sollte der Umfang der Scheibe das Quecksilber in der Mulde bloß berühren; auch muß sie gut amalgamirt sein. Dies geschieht am besten, wenn man sie aus dem Mittelpunkt herausnimmt, den Rand mit einer Feile glättet, alsdann ein Stück Draht in salpetersaures Quecksilber taucht, einen Theil des in der Salpetersäure enthaltenen Quecksilbers somit aufnimmt und es auf den Rand der Scheibe überträgt, indem man den mit Quecksilber überzogenen Draht herumreibt. Diese Ersetzung einer getheilten Scheibe durch eine fortlaufende stammt von Sturgeon her.

86. Derselbe Strom läßt sich zur Drehung zweier gezahnten Räder anwenden, indem man sie auf die Weise, wie Figur 56 zeigt, an die Enden eines Horizontaldrahtes

Fig. 56.*

* Der Holzschneider hat vergessen, die zwei Hufmagnete in diesem Holzschnitte anzubringen, sie müssen so liegen, wie der eine in Fig. 55.

anbringt, welcher auf zwei Pfeilern gehalten wird, die sich vom Gestelle aus erheben, und welche als gemeinschaftliche Achse der Räder dienen. Die unteren Enden der Radien tauchen in Mulden von Quecksilber ein, wovon jede zwischen den Polen des Hufeisenmagnetes liegt. Eine jede Mulde hat ihren besonderen Draht und ihre besonderen Schalen P und N, um ihre Verbindungen mit der Volta'schen Batterie herzustellen. Der Strom, welcher von der einen Schale zum Quecksilber in der Mulde auf derselben Seite übergeht, steigt den Radius entlang, der darin eintaucht, geht die Achse entlang und kömmt auf das andere Rad; alsdann steigt er in das Quecksilber ab und macht seinen Ausgang in der Schale auf dieser Seite. Die elektrische Strömungen, die sich in entgegengesetzten Richtungen in den zwei Rädern bewegen, erheischen eine entgegengesetzte Anordnung der Pole der beiden Magnete, durch welche die Einwirkung auf sie geübt wird, d. h. die Pole der zwei Magnete, die innerhalb der Räder liegen, müssen beide von derselben Art sein, wie dies auch die der außen liegenden sein müssen. Die Geschwindigkeit der durch die vereinigte Wirkung beider Magnete sich umdrehenden Räder ist sehr groß.

86. Die Versuche über elektromagnetische Umdrehung, die wir beschrieben haben, erheischen für ihre erfolgreiche Ausführung nicht eine Volta'sche Batterie von bedeutender Größe und Kraft. Sind die Magnete kräftig genug, so ist nur ein einziges Paar Platten erforderlich. Die passendste Form einer Batterie dieser Art ist die von Watkins, welche in Figur 57 dargestellt ist. Sie besteht aus einem doppelten cylindrischem Gefäße von dünnem Kupfer mit einem Boden desselben Metalls. Eine Zinkplatte als Cylinder gerollt, von einem Durchmesser, der zwischen denen der Kupfercylinder in der Mitte liegt, ist dazwischen eingeführt, allein daran verhindert, sie an irgend einem Theile zu berühren; hiezu dienen drei hölzerne Füße am Boden des Gefäßes und Holzstücke, die als Keile zwischen den Seiten eingebracht sind. Ein Kupferdraht ist an die Innenseite der Spitze des äußeren Kupfercylinders genietet und hält eine kleine an sein Ende geheftete Schale P, indem der Draht, um mit dem darin befindlichen Quecksilber in Berührung zu kommen, durch den Boden der Schale geht. Ein anderer und ähnlicher Draht N ist auch an den oberen Rand des Zinkcylinders geheftet, der gleicherweise in eine Schale ausgeht, welche Quecksilber enthält. Die Batterie wird geladen, indem man das Kupfer mit verdünnter Säure füllt und der elektrische Strom, welcher das Ergebniß dieser Wirksamkeit ist, läßt sich leicht von dort

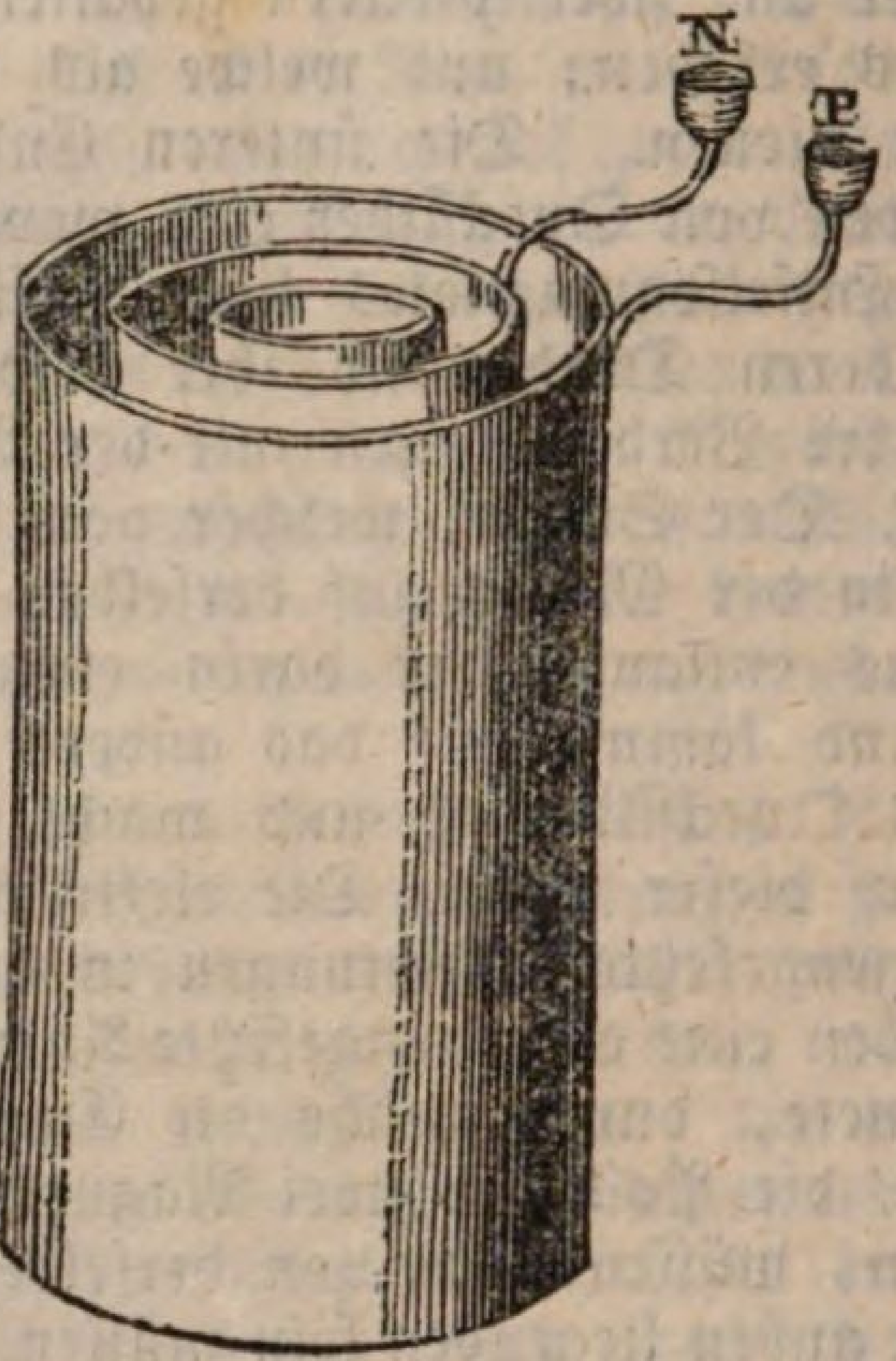


Fig. 57.

nach der Vorrichtung, wo man ihn braucht, durch zwei gebogene Kupferdrähte übersenden, wovon das Ende des einen in das Quecksilber der Schale, die aus dem Zinkcylinder hervorragt, und dessen anderes Ende in die Schale geht, die an den Kupfercylinder geheftet ist, während die anderen Enden in das Quecksilber der an die Vorrichtung befestigten Schalen eintauchen. Der Strom läßt sich in jedem Augenblick aufhalten oder erneuen, indem man ein Ende des Verbindungsdrahtes von der Schale entfernt oder wieder einbringt. Auch die Richtung des Stromes läßt sich leicht ändern, indem man die Lage der Drähte in zweien der Becher umtauscht. Die Enden der Verbindungsdrähte sollten vollkommen glänzend sein und die Enden der Drahtarme, welche die Schale halten, und in das dortige Quecksilber eintreten, müssen in ähnlichem Zustand sein, so daß eine vollkommene metallische Berührung gesichert wird.

87. Bei elektrisch-magnetischen Versuchen, wo zahlreiche Wiederholungen der Berührung zwischen den Drähten oft erheischt werden, ist es von großem Nutzen, wenn diese Dräthe von Kupfer sind, daß man die Enden mit etwas salpetersaurem Quecksilber reibt. So entsteht ein Amalgama auf der Oberfläche des Kupfers, welches sich nicht oxydirt

oder schmutzig wird, wie Kupfer selbst, sondern welches glänzend bleibt und sich beträchtlich lange Zeit für Volta'sche Berührung eignet. Wir verdanken Faraday diese nützliche Einrichtung.

88. Die Bewegung der Strömungen durch den Einfluß des Poles eines Magnetes läßt sich sowohl in flüssigen wie festen Leitern darstellen; so zeigt das Quecksilber, während es den Strom leitet, diese Bewegung mit größter Leichtigkeit. Taucht man die Spitzen positiver und negativer Drähte in ein seichtes Becken voll Quecksilber, so wird ein Magnet, den man über oder unter der Verbindungslinie hält, die Umdrehung des Quecksilbers um die Punkte veranlassen, von welchen die Strömungen auseinander laufen. Diese Bewegung läßt sich deutlicher machen, wenn man das Quecksilber mit einer sehr verdünnten Säureauflösung bedeckt, welche die Befreiung von Luftblasen veranlaßt, die sich mit dem Quecksilber bewegen. Dieselbe Erscheinung kann auch in folgender Weise gezeigt werden. Wenn der positive Draht sich mit einer Stahlspitze endigt, die in Quecksilber in einem seichten Becken eingetaucht wird, so daß er einen elektrischen Strom hineinbringt, welcher in strahlenartigen Linien hindurch geht, von dem Kupferring, der die Stahlspitze umgibt, aufgenommen und so zum negativen Pol getragen wird, so wird man sehen, nachdem man den Pol eines starken Magnetes unter das Becken, welches unmittelbar unter dem Draht mit der Stahlspitze liegt, gestellt hat, wie das Quecksilber sich schnell in Wirbeln um die Spitze bewegt, von welchem die Strömungen auseinander gehen. Die Umdrehung geschieht in entgegengesetzter Richtung, wenn die Richtung des Stroms entweder umgekehrt, oder der entgegengesetzte Pol des Magnetes angewandt wird.

89. Sir H. Davy fand, daß der gewölbte Strom elektrischen Lichtes, der sich zwischen zwei spitzen Polen in der Volta'schen Kette ausdehnt, wie Galvanismus §. 27 beschrieben ist, in eine schnelle drehende Bewegung durch die Wirkung eines Magnetpoles in seiner Nähe geräth.

Siebentes Kapitel.

Zusammendrängung der Wirkungen.

90. Wir haben schon §. 82 gesehen, daß ein Leitungsdraht, wenn derselbe zwischen zwei entgegengesetzte Pole eines Magnetes gebracht wird, einen ähnlichen Einfluß von diesen Polen erhält, und in einer besondern Richtung durch die vereinigte Kraft beider vorwärts getrieben wird. Eine ähnliche Verbindung von Kräften wird vorkommen, wenn der Pol eines Magnetes zwischen zwei parallele leitende Dräthen gestellt wird, in denen sich die elektrischen Strömungen in verschiedenen Richtungen bewegen. Wird die Nadel NS Fig. 58, welche wie eine Neigungsnadel im Gleichgewicht gehalten ist, zwischen die Dräthe Ww gebracht, in deren ersterem der Strom aufsteigt, während er in letzterem

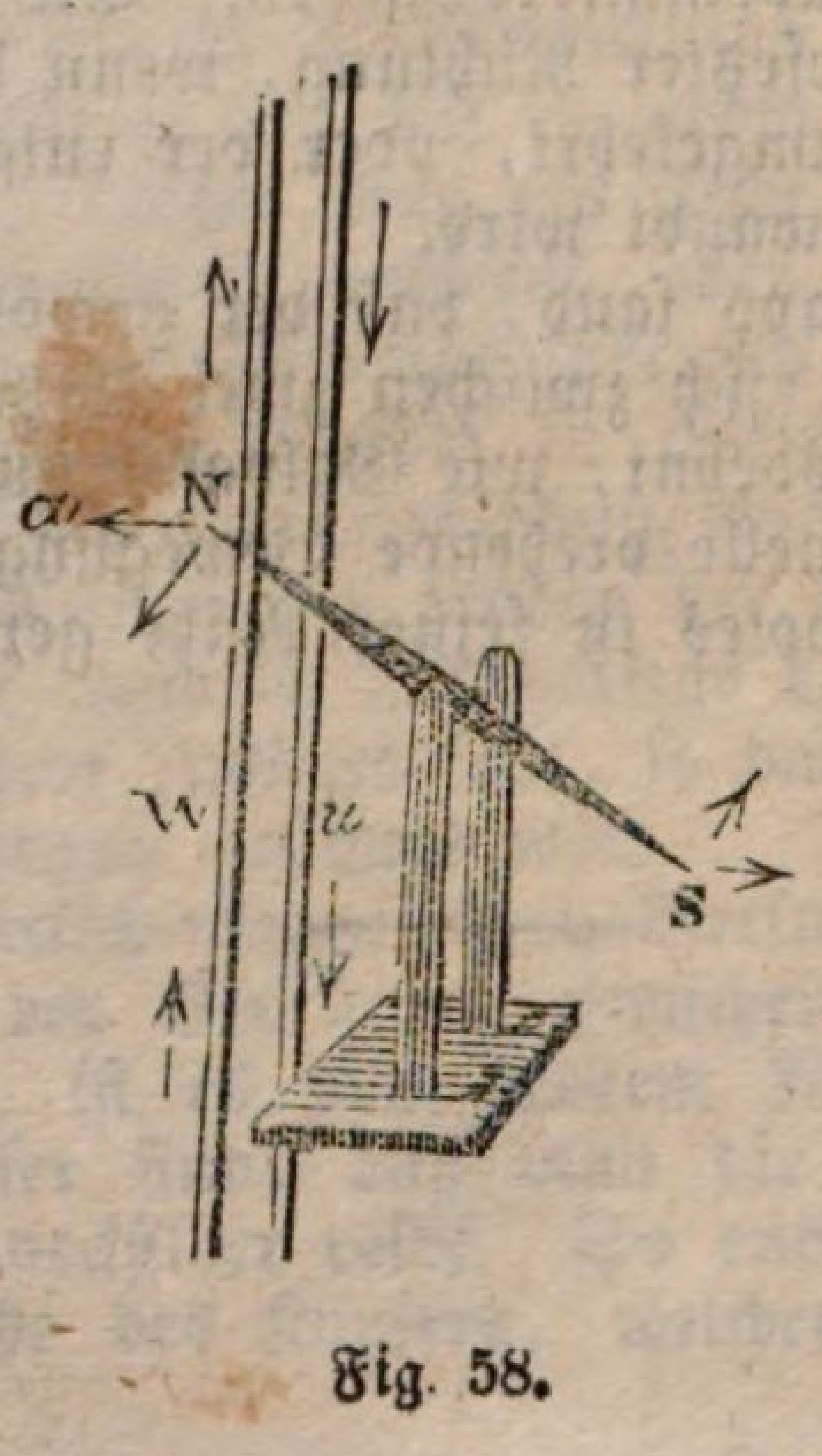


Fig. 58.

absteigt, so wird der Nordpol der Nadel in derselben Richtung, wie der Pfeil a zeigt, von beiden Dräthen in einer zu den Dräthen parallelen Fläche und in rechtem Winkel zur Fläche getrieben, worin beide gelegen sind. Der Südpol wird nach der entgegengesetzten Richtung von beiden Dräthen getrieben werden, und die Nadel wird in Verbindung dieser Kräfte eine starke Neigung haben, sich auf dem Mittelpunkt umzudrehen.

91. Werden die Dräthe an jedem Ende zusammen verbunden, oder, was auf dasselbe herauskömmt, wird ein fortlaufender Draht auf sich selbst zurückgebogen, so wird ein elektrischer, durch einen solchen Draht gesandter Strom auf eine Nadel zwischen seinen zwei Zweigen, mit zweimal der Kraft Einfluß üben, die ein einziger Draht geübt haben würde. Diese Wirkung läßt sich durch folgende einfache Vorrichtung Fig. 59 zeigen; wo die zwei Schalen, die den gebogenen Draht W A w B, welcher oben und unten über

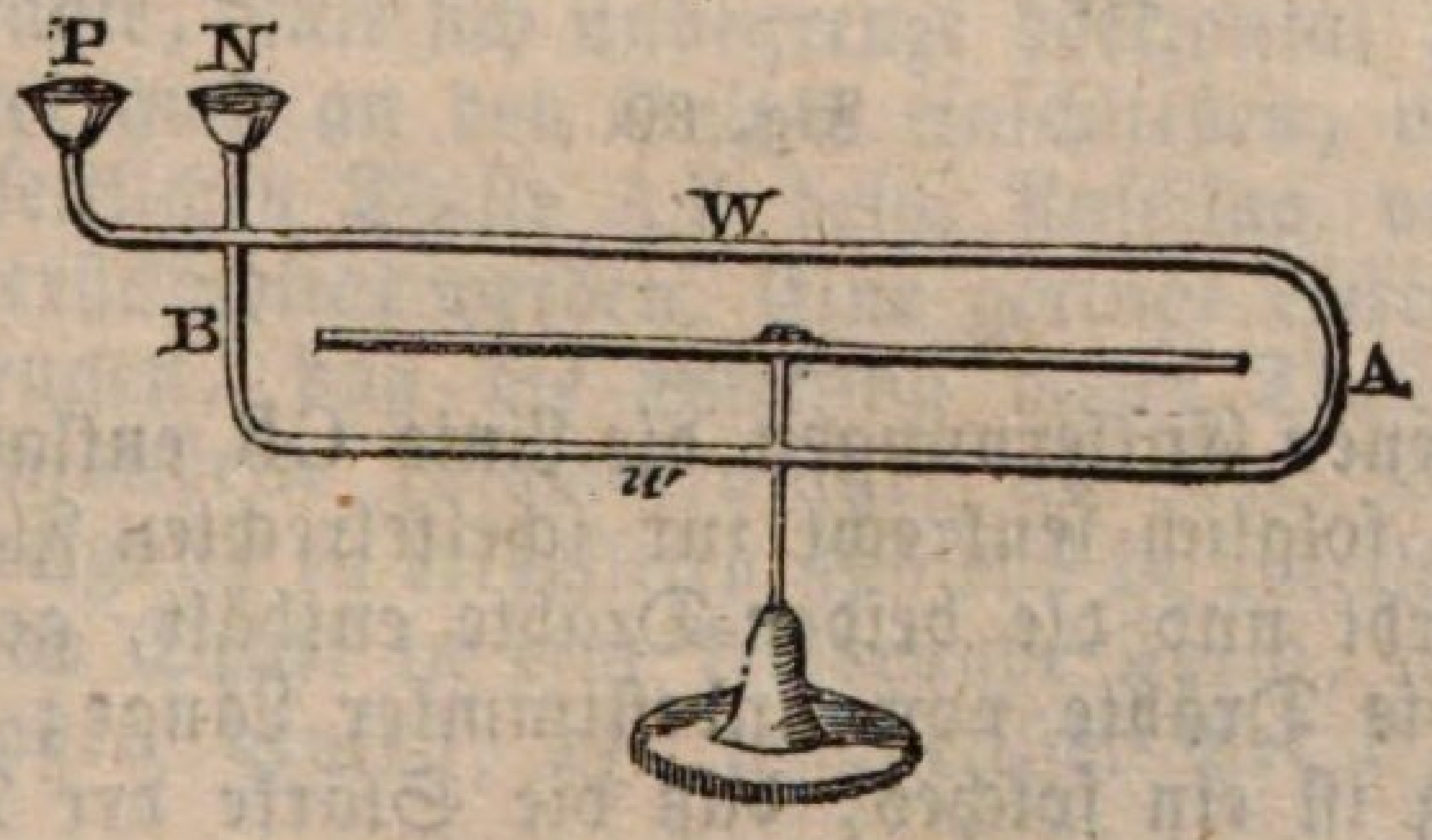


Fig. 59.

eine auf der Spitze schwebende Magnetnadel geht, uns befähigen, einen elektrischen Strom in jeder Richtung, die uns gefällig ist, hindurch zu senden. Dieser Strom, der sich in entgegengesetzten Richtungen in den oberen und unteren Horizontaltheilen des Drahtes bewegt, wird in beiden Fällen darauf hinwirken, ihn von der natürlichen Stellung in derselben Richtung abzuwenden, und ihn in eine Lage zu bringen, die einem rechten Winkel zur Fläche der Dräthe näher liegt.

92. Die Kraft, womit jeder Pol in einer Linie von rechten Winkeln zur Ebene, worin die Dräthe liegen, angetrieben wird, verhält sich direkt wie die Stärke des Stroms (vorausgesetzt, dieselbe ist gleich in beiden Dräthen) und

direkt wie die Länge des Zwischenraums zwischen den Drähten, ferner auch umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Poles von den Drähten. Dies erscheint aus folgender Betrachtung. AB Fig. 60 stelle die Durchschnitte der Drähte dar, die senkrecht durch die Fläche der Figur gehen, indem C der Mittelpunkt der Linie AB ist, welche den Zwischenraum zwischen ihnen darstellt. Der magnetische Pol P werde

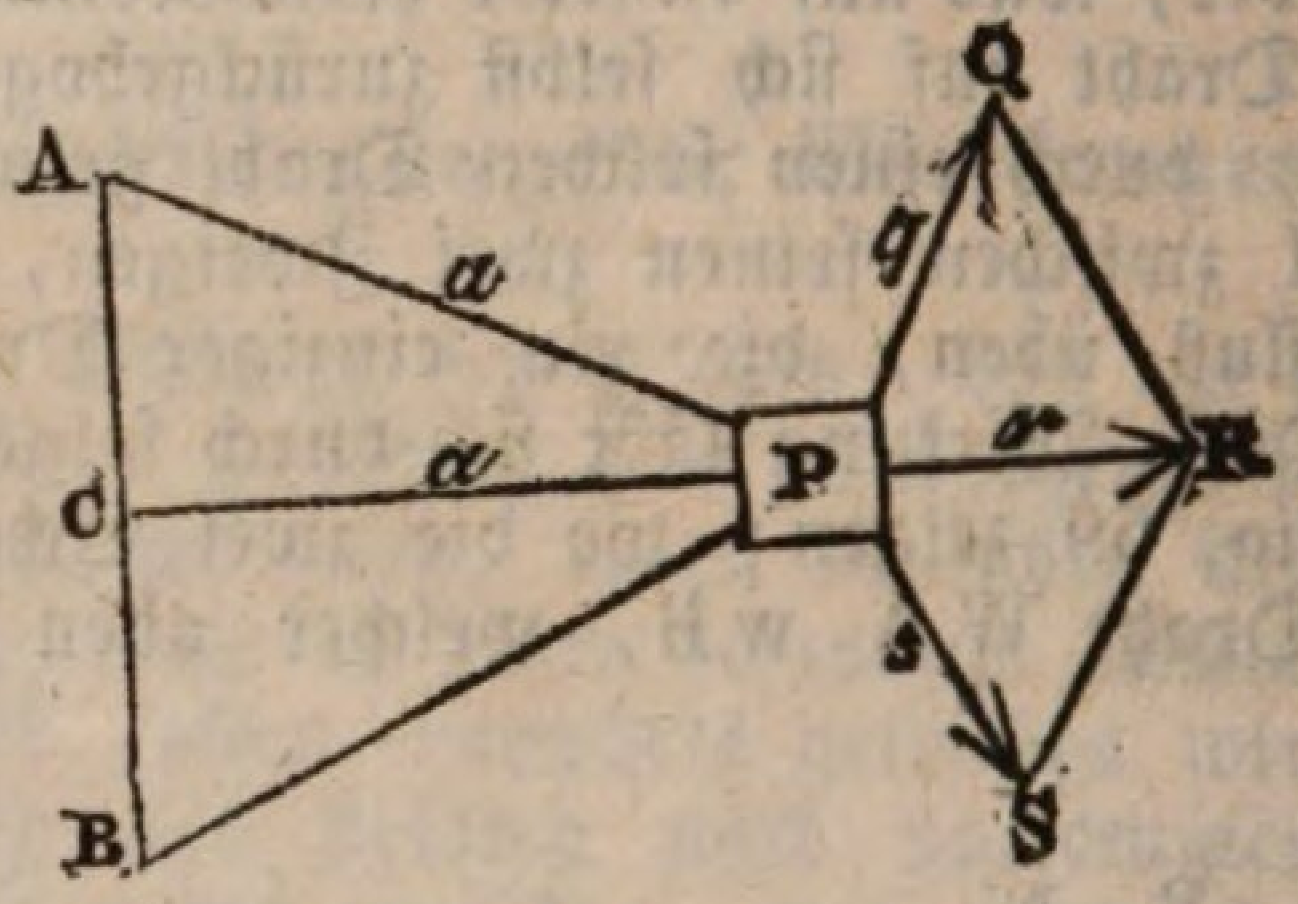


Fig. 60.

in verschiedenen Entfernungen die Linie CR entlang senkrecht zu AB und folglich senkrecht zur scheitelrechten Fläche, welche durch AB geht und die beiden Drähte enthält, gestellt. Man denke sich die Drähte von unbestimmter Länge; das Gesetz der Wirkung ist ein solches, daß die Stärke der Tangentialkraft, die sich auf den Pol P durch den Draht A äußert, in umgekehrtem Verhältniß wie die Entfernung AP, die wir a nennen wollen steht, und in der Richtung PQ senkrecht zu AP liegt. Auf gleiche Weise äußert der Draht B auf den Pol P eine Kraft in der Richtung von PS, welche in der Voraussetzung der gleichen Stärke der beiden Ströme der ersten Kraft gleich ist. Werden die zwei Kräfte durch die Linie PQ und PS dargestellt, die wir q und s nennen wollen, so wird die mittlere Kraft sich durch die Diagonale PR des Parallelogramms darstellen lassen, welches PQ und PS zu Seiten hat. Nennen wir PR, r und AB, i, so haben wir folgende Proportion:

$$a : i :: q : r,$$

d. h.

$$r = \frac{iq}{a};$$

aber in verschiedenen Lagen von P auf der Linie CR wird

q in umgekehrtem Verhältniß wie a sich verändern und deßhalb wird r sich verhalten wie $\frac{i}{a^2}$, d. h. die Kraft, wodurch der Pol P in der Richtung der Linie CR durch die vereinte Wirkung der zwei Drähte A und B getrieben wird, verändert sich in verschiedenen Lagen dieser Linie umgekehrt, wie das Quadrat seiner Entfernung von jedem der Drähte und direkt wie die Länge des Zwischenraums zwischen den Drähten.

93. Um die Drehungskraft anzuschlagen, welche auf eine Nadel geübt wird, die auf die Drehung um eine feste Are in senkrechter Fläche zu der der Drähte beschränkt ist, wie in den §§. 90 und 91 gegebenen Beispielen wird es nothwendig sein, die Kraft, welche oben gefunden wurde, in eine solche aufzulösen, die in der Richtung der Tangente des Drehungsumfangs wirkt, d. h. man muß sie in das Verhältniß des Radius zum Cosinus des Winkels, welche die Nadel zur Ebene des Drahtes bildet, zurückführen.

94. In der Lage des Figur 59 dargestellten Magnetes, wo die Drähte, statt sich unbegrenzt horizontal auszudehnen, den Magnet auch an den Seiten einschließen, muß der Einfluß der seitlichen Theile AB beim Anschlag der erzeugten Wirkung berücksichtigt werden. Eine geringe Betrachtung wird uns überzeugen, daß die Wirkung dieser Theile mit denen der Horizontaltheile zusammenfällt, um der Nadel dieselbe Richtungsneigung zu ertheilen, und daß in Wirklichkeit, wenn wir uns den Draht in eine kreisrunde Form, wie Figur 61 zeigt, gebogen denken, der magnetische Pol P, der in der

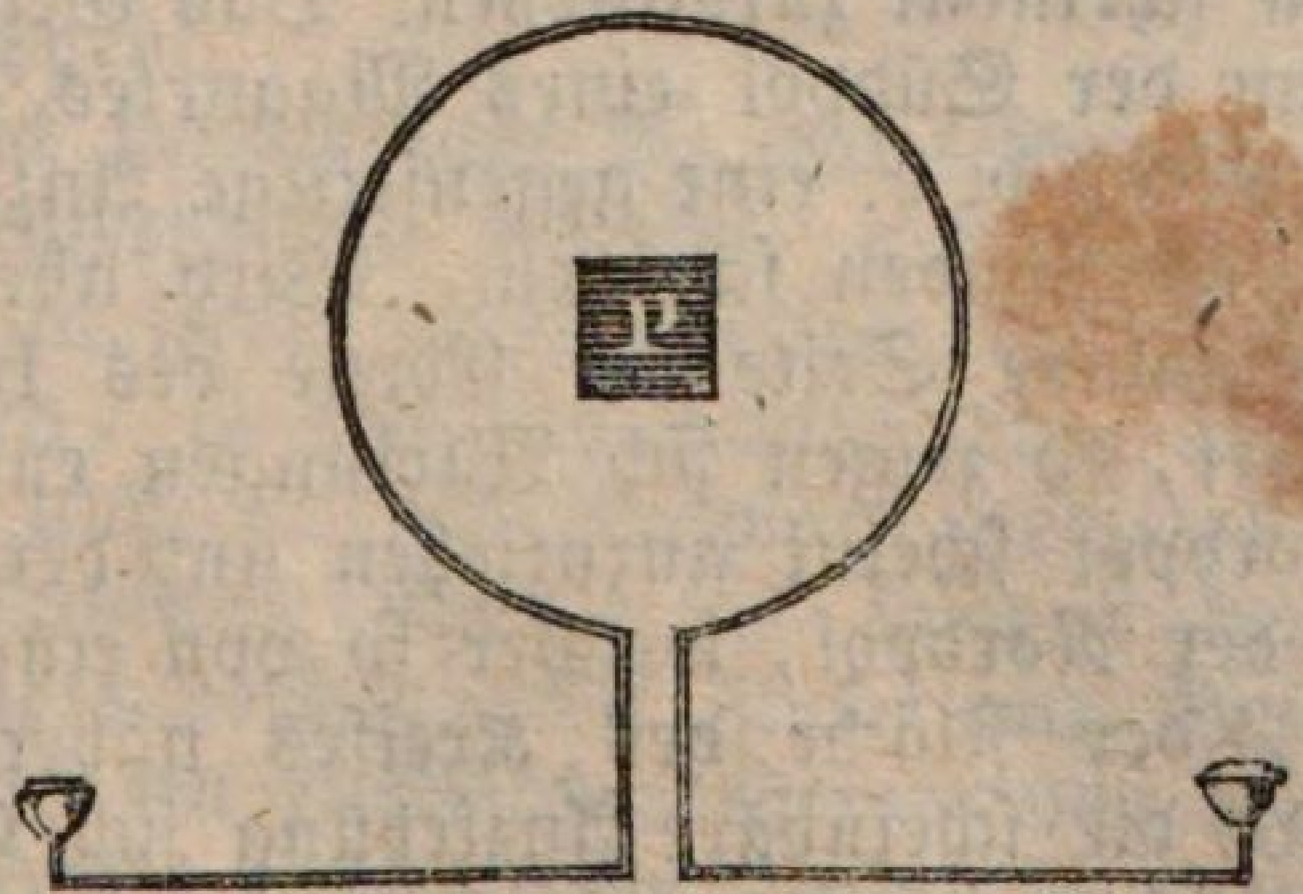


Fig. 61.

Mitte des Kreises oder in einer Linie liegt, welche durch den Mittelpunkt geht und die im rechten Winkel zur Ebene steht,

in eine gleichförmige Richtung vermittelst des durch den Draht gesandten Stromes auf jedem Theile seines Laufes in der runden Biegung getrieben werden wird.

95. Denken wir uns, es sei möglich, für den Strom, sich in einem vollkommenen Kreise zu bewegen, indem seine Richtung diejenige ist, welche von den Pfeilen in Figur 62 und 63 angezeigt ist, so wird der Nordpol des Magnetes

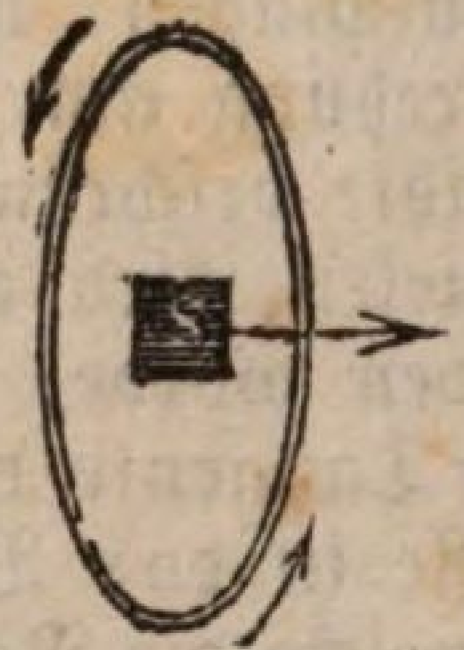


Fig. 62.

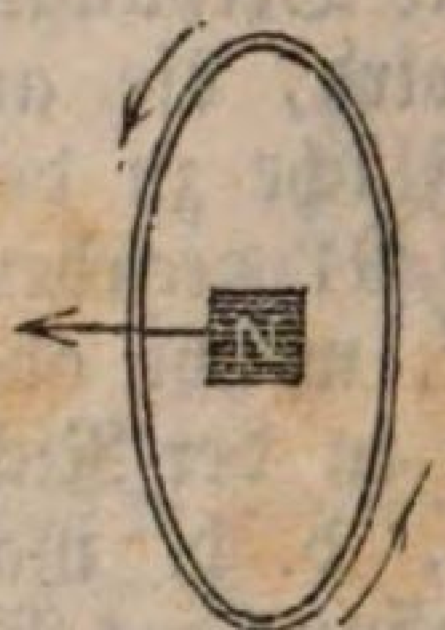


Fig. 63.

in der Mitte sich rechts und der Südpol sich links bewegen, wie die Richtung der Pfeile N S zeigt. Wird deßhalb der Nordpol eines Magnetes rechts an diesen kreisförmigen Strom gebracht, so wird er sich bestreben, sich davon wegzubewegen und den Anschein haben, davon zurückgestoßen zu werden: da eine ähnliche und wechselseitige Wirkung zwischen dem magnetischen Pol und dem elektrischen Strom stattfindet, so wird der letztere mit dem Drahte, der ihn führt, wenn er sich frei bewegen kann, von dem Magnete weichen oder ihn scheinbar zurückstoßen. Das Gegentheil wird stattfinden, wenn der Südpol eines Magnetes in derselben Seite genähert wird, d. h. eine gegenseitige Anziehung wird zwischen ihnen stattzufinden scheinen. Wird aber einer dieser Pole an die andere Seite der Ebene des kreisförmigen Stromes genähert, so zeigen sich Wirkungen entgegengesetzter Art; der Nordpol scheint anzuziehen und der Südpol abzustoßen. Wird der Nordpol, welcher so von einer Seite anzuziehen scheint, der Fläche des Kreises näher und näher gebracht, so wird die scheinbare Anziehung sich steigern, bis er die Ebene erreicht; im Augenblick, wie er hindurchgeht und auf die andere Seite kommt, beginnt eine gleiche Abstoßung wie vorher, und die Anziehung mindet sich allmählig, wie die Entfernung von der Fläche sich mehrt.

96. Dieser gedachte Fall läßt sich in einigem Maß in einer sehr sinnreichen Vorrichtung verwirklichen, welche de la

Rive erfand und welche in Figur 64 dargestellt ist. Sie besteht aus einer kleinen galvanischen Batterie, die durch ein

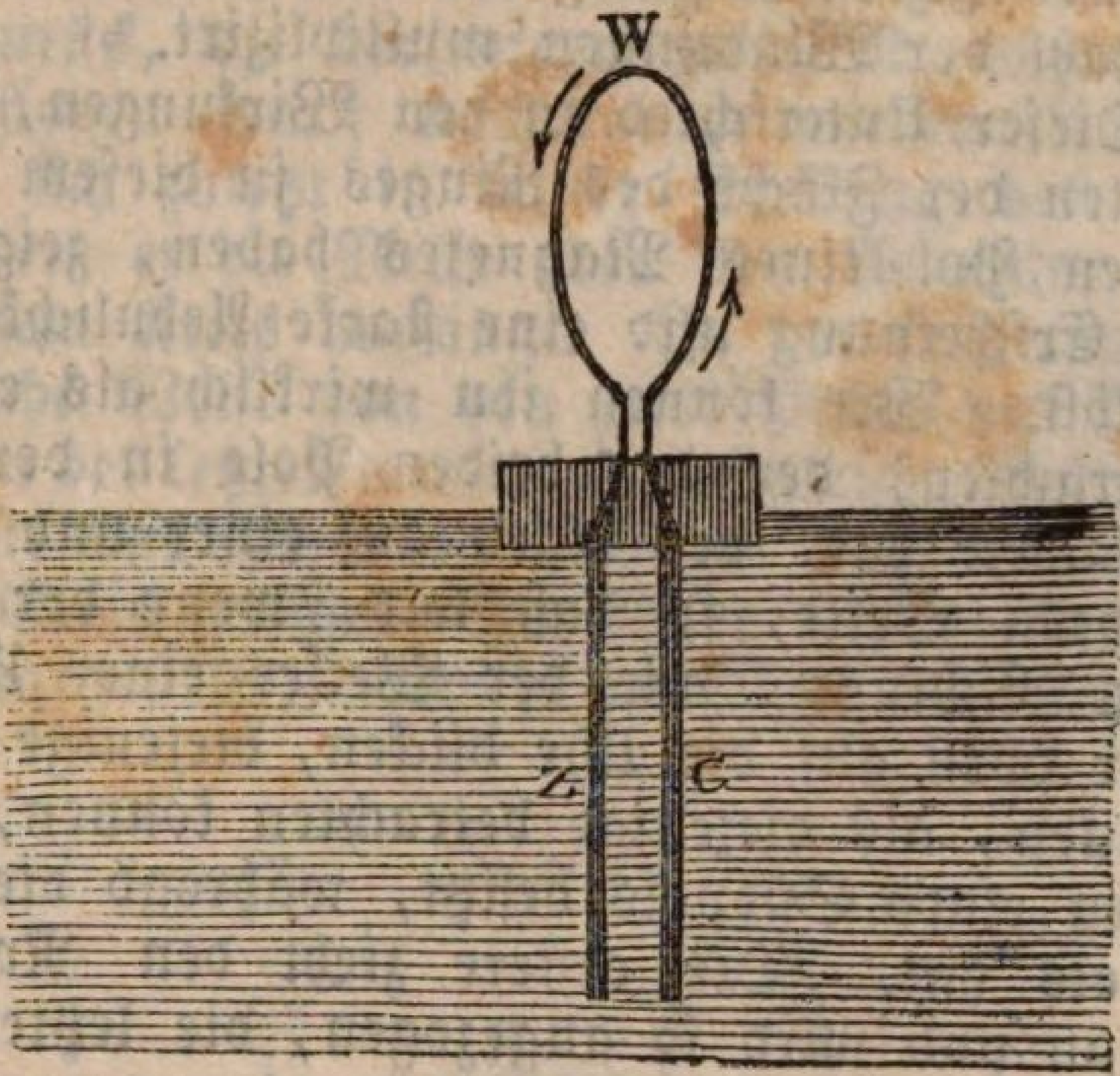


Fig. 64.

Paar Zink- und Kupferplatten Z und C gebildet ist, welche an einen Kork von genügender Größe befestigt sind, damit die ganze Vorrichtung auf dem gesäuerten Wasser schwimmen kann, welches auf das Zink einwirken soll. Jede dieser Metallplatten ist ungefähr ½″ weit und dehnt sich beinahe 2″ unter den Kork hin aus, durch welchen das obere Ende hindurchgeht.

Ein Stück Kupferdraht W, mit seidenem Faden bedeckt, ist an die Kupferplatten geheftet, geht aufwärts durch den Kork und ist in Form eines Kreises von einem Zoll Durchmesser gebogen, so daß das andere Ende in den Kork wieder umkehrt und an die Zinkplatte genietet werden kann. In der galvanischen Kette, die so von der Säure und den vom Drahte verbundenen Zink- und Kupferplatten gebildet ist, wird ein elektrischer Strom von der Kupferplatte den runden Draht entlang zur Zinkplatte gerichtet, wie die Pfeile zeigen, und die Beweglichkeit der schwimmenden Vorrichtung gibt die beste Gelegenheit, alle die Wirkung der anziehenden und abstoßenden Neigung zu zeigen, die wir so eben beschrieben haben, wenn ein Magnet irgend einer Seite nahe gebracht wird. Es ist passend, noch anzugeben, daß dies Instrument kräftiger wird, wenn man den Draht sich

5—6mal im Kreise wenden läßt und alsdann die Mündungen so zusammen verbindet, daß sie einen Ring bilden; da derselbe so aus einer Zahl conzentrischer Kreise besteht, wird die Wirkung eines Jeden vereinigt und die Kraft wird gleichsam durch die Zahl der Windungen multiplizirt.

97. Dieser Unterschied in den Wirkungen, welche die beiden Seiten der Fläche des Ringes in diesem Instrument auf denselben Pol eines Magnetes haben, zeigt eine sehr auffallende Erscheinung und eine starke Aehnlichkeit mit dem Magnet selbst. Wir können ihn wirklich als einen flachen Magnet betrachten, der die beiden Pole in der Mitte auf zwei Oberflächen hat, den einen auf einer und den andern auf der andern Seite, so daß wir, wenn der Strom sich in derselben Richtung, wie der Weiser einer Uhr bewegt, im Fall wir vorn auf die Uhr blicken, diejenige Seite, worauf wir blicken, als diejenige betrachten können, welche die Eigenschaften eines Südpols besitzt, während die andere die des Nordpols hat. Die erstere zieht den Nordpol eines Magnetes an und wird so angezogen, die letztere zieht den Südpol an und wird von dem Südpol angezogen.

98. Eine sehr merkwürdige Erscheinung zeigt sich, wenn ein Magnet horizontal dem scheitelrechten elektromagnetischen Ringe de la Rive's genähert wird, vorausgesetzt, der Magnet ist dünn genug, um leicht durch den Ring zu kommen. Wird ihm der Pol auf der Seite geboten, wo die Anziehung stattfindet, so wird der Ring sich darnach hinbewegen, bis er an den Pol gelangt und alsdann geht er weiter in demselben Laufe, indem der Magnet in der Achse des Ringes gehalten wird, bis derselbe die Mitte des Magnetes erreicht; dort aber scheint er geneigt, anzuhalten; nach einigen Schwingungen setzt er sich fest in der Stellung des Gleichgewichtes; verrückt man ihn absichtlich, indem man ihn zum andern Pol hinbringt, so kehrt er mit einer Kraft zurück, welche darthut, daß er vom andern Pol abgestoßen wird. Man entferne hierauf den Magnet und drehe ihn halb um, so daß seine Pole in den Richtungen das Gegentheil des früheren sind; halte alsdann den Ring in einer Hand und bringe den Magnet mit der andern Hand wieder hinein, bis er zur Hälfte hindurch ist. Unter diesen Umständen ist es gerade möglich, daß man ihn in eine Lage gebracht hat, worin der Ring wieder im Gleichgewicht sein kann, ohne daß die Richtung seiner Bewegung bedingt ist; die geringste Veränderung in dieser Stellung aber verursacht, daß er sich mit beschleunigter Geschwindigkeit zu dem Pol, der ihm am nächsten liegt, bewegt, und indem er durchaus frei vom Magnet

wird, fliegt er auf beträchtliche Entfernung geschleudert fort. Zuletzt jedoch hält er an, wendet sich allmählig um, und zeigt die entgegengesetzte Seite dem Magnete. Die Anziehung findet statt und der Ring kehrt zum Magnet mit einer Kraft zurück, die derjenigen gleich ist, womit er früher davon geflogen war; nachdem er wieder über den Pol geht, setzt er sich zuletzt in seiner Stellnng des Gleichgewichtes fest, indem er die Mitte oder den Aequator des Magnetes mit seinem Kreis umfängt. In der früheren Lage wird er auf gleiche Weise von den zwei Polen des Magnetes angezogen, in der letzteren wird er auf gleiche Weise zurückgestoßen. Das erste war somit ein unstätes und das letzte ist ein bleibendes Gleichgewicht. In dieser letzten Lage ist der Ring Fig. 65 dargestellt, indem er die Mitte des Magnetes umringt.

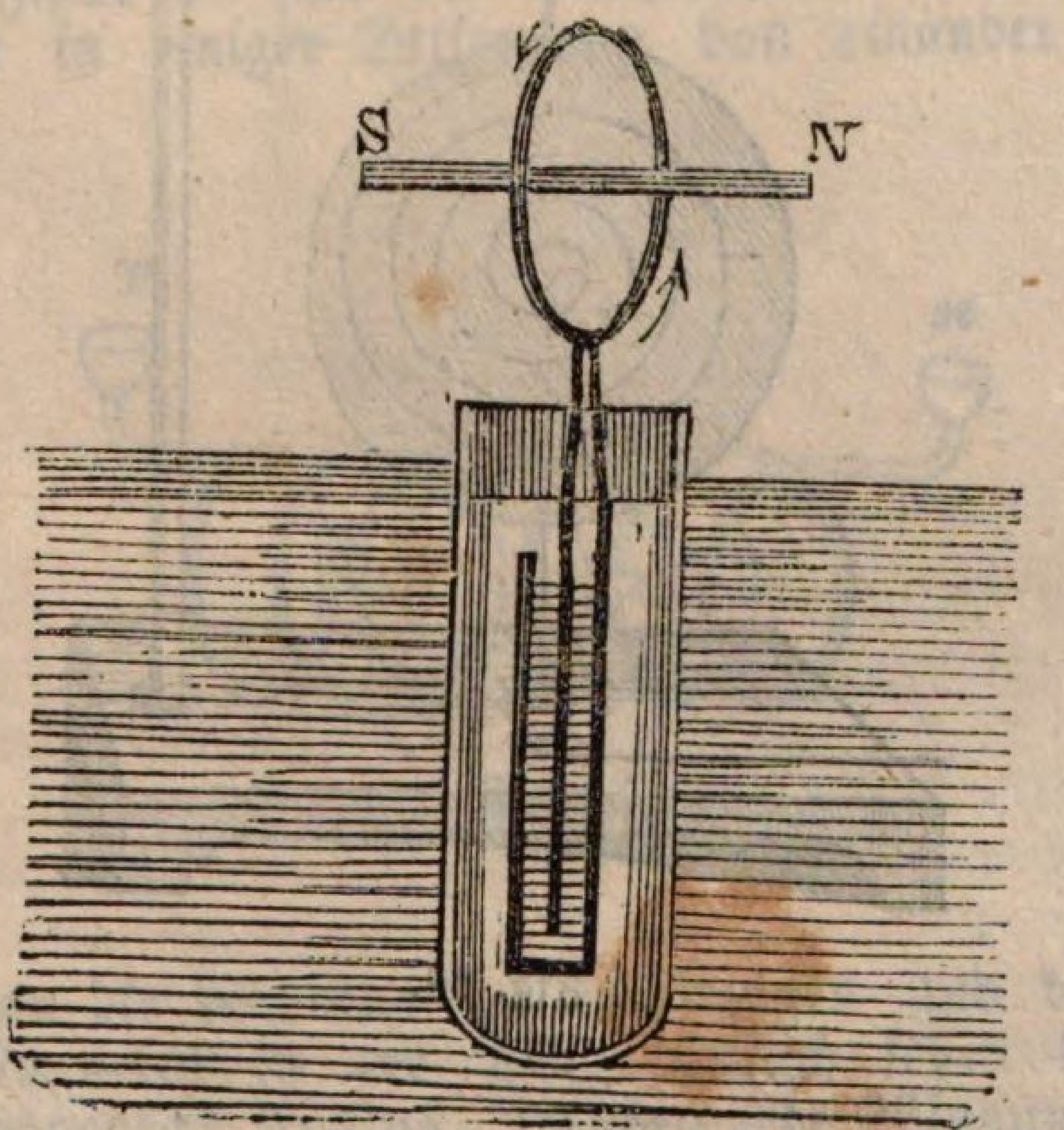


Fig. 65.

99. De la Rive's Vorrichtung läßt sich auch iso verfertigen, daß die Flüssigkeit, worin sie schwimmt, nicht aus Säure besteht: ist nämlich der Kupferdraht doppelt und paßt er um die Zinkplatte, so daß er eine Zelle bildet, welche die Säure und die Zinkplatte enthalten kann, so läßt sich die ganze Verbindung in einem Glascylinder verschließen, der

sie auf dem Wasser zu schwimmen befähigt. Beide Zinkoberflächen sind so einer Kupferoberfläche entgegengesetzt, wie in der von Wollaston vorgeschlagenen Vorrichtung (Galvanismus §. 18). Auf diese Hinzufügung kam zuerst Marsh und sie ist §. 65 dargestellt. Die zu dem Zweck erforderliche Röhre kann aus dem Hals einer florentinischen Flasche verfertigt werden.

100. Die magnetischen Eigenschaften runder Leiter lassen sich in auffallender Weise darthun, indem man den Draht in Form einer Spirallinie (Figur 66) biegt. Das

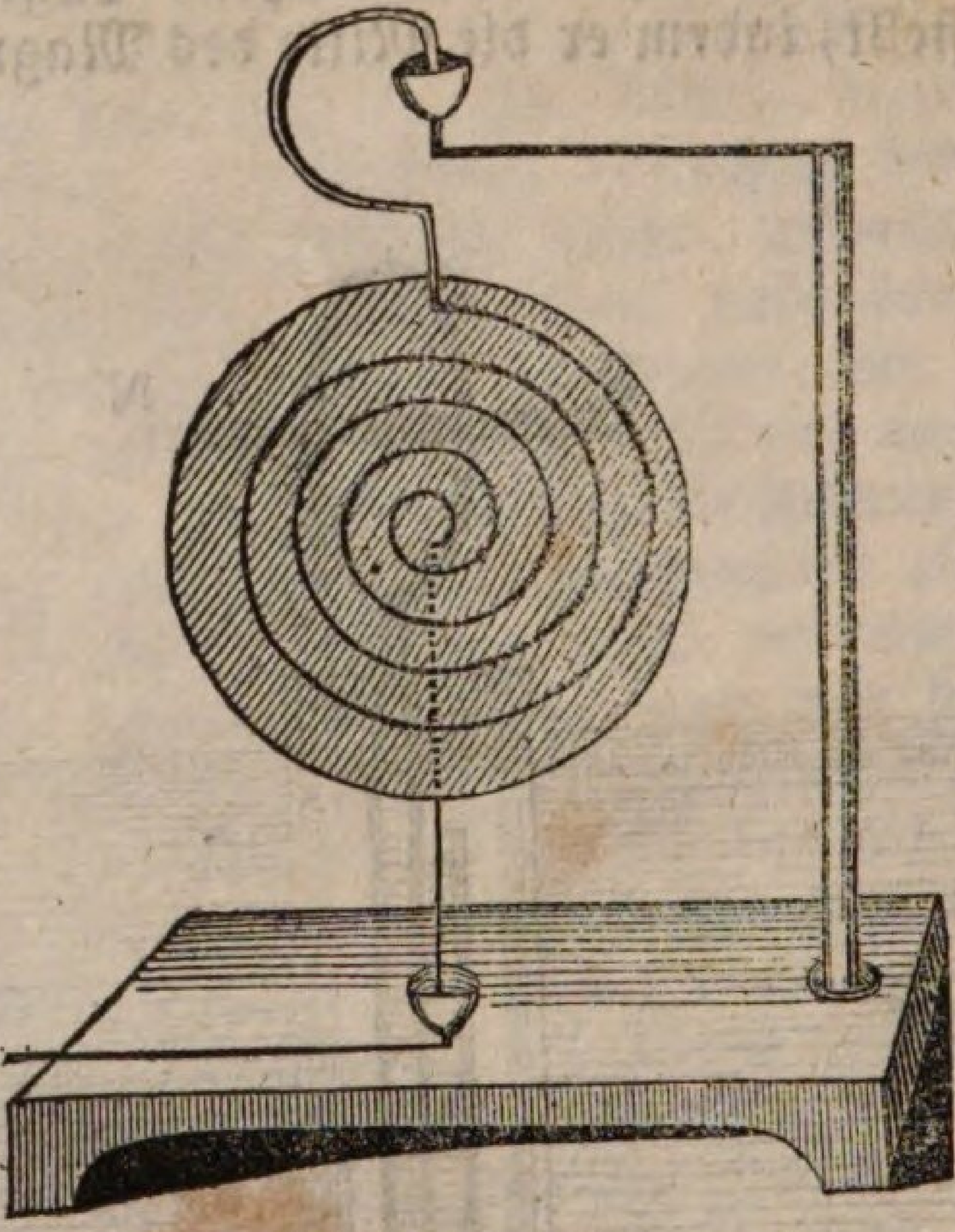


Fig. 66.

obere Ende des Drahtes muß nach unten gebogen sein und mit einer Spitze enden, um in eine Schale mit Quecksilber eingethan zu werden, die durch einen Draht mit einem der Pole der Volta'schen Batterie in Verbindung steht. Die Windungen des Drahtes kann man vor Berührung sichern, indem man sie mit einem Seidenfaden umwickelt, oder man kann sie an die Oberfläche einer Karte heften, während der Draht, welcher von der Mitte der Windung ausgeht, durch die Karte hindurchkömmt, und in gerader Linie auf der entgegengesetzten Seite absteigt, damit er mit dem

spitzen Ende auf der andern Seite der Schale ruht, welche ebenfalls Quecksilber enthält, um eine Verbindung mit dem andern Pol der Batterie zu bilden. Eine Windung dieser Art, worin alle aufeinanderfolgenden Windungen zusammenwirken, um die entgegengesetzten Polaritäten auf den zwei Seiten zu erzeugen, ahmen noch entschiedener die Wirkungen eines Magnetes nach, dessen Pole man sich in dem Mittelpunkt jeder Scheibe denken kann.

101. Eine noch genauere Nachahmung eines Magnetes erlangt man, wenn man die Drehungen des Drahtes nicht in derselben Fläche, wie in der oben beschriebenen Spirallinie, sondern auf einer cylindrischen Oberfläche, wie die Windungen eines Korkziehers oder eines Schraubengewindes (Helix) macht, eine Anordnung, welche viele merkwürdige Eigenschaften in Bezug sowohl auf innere wie äußere Wirkung zeigt.

In Figur 67 sind die verschiedenen Windungen einer Schraube in einiger Entfernung von einander dargestellt,

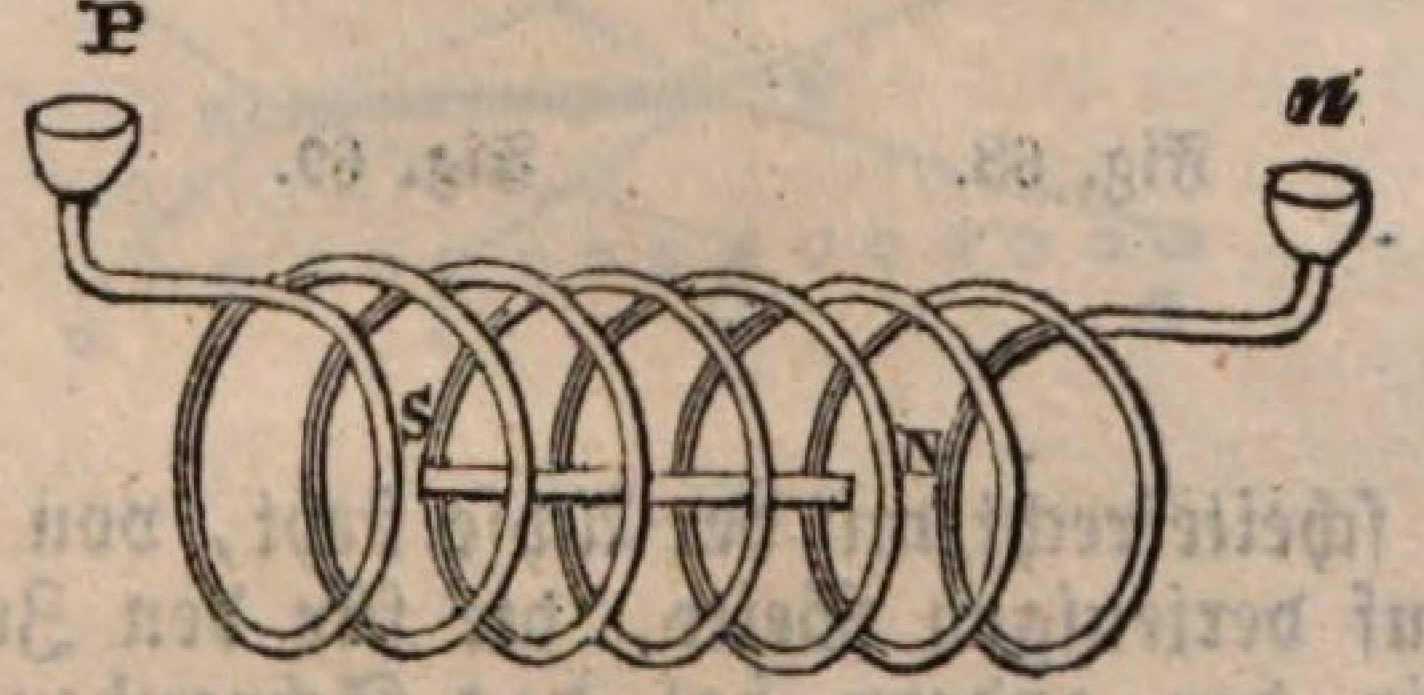


Fig. 67.

damit man die Richtung der Windungen und die Stellung eines Magnetes in der Achse deutlich sehen kann. Der elektromagnetische Einfluß, welchen jede Windung (Schraubengang) äußert, geht, wie wir gesehen haben, dahin, den Nordpol eines in seiner Achse befindlichen Magnetes in eine Richtung die Achse entlang und den Südpol in die entgegengesetzte Richtung zu treiben. Die so geäußerte Kraft wird natürlich im Grade vervielfältigt und in Ausdehnung vermehrt, so wie jede Wiederholung der Drehung eintritt, und eine Magnetnadel im Innern des Schraubengangs wird eine starke Neigung haben, sich in die Achse zu stellen, und ihre Pole auf eine Weise zu wenden, welche der Natur der wirkenden Kraft entspricht.

102. Nun ist diese Kraft von zwei Umständen abhängig: 1) Von der Richtung des Stromes in Bezug auf die Achse des Schraubengewindes und 2) von der Richtung der Umdrehungen oder Schraubengänge, welche dieselbe bilden. Bekanntlich unterscheidet man Schrauben nach der Richtung ihrer Schraubengewinde rechts oder links. In der ersteren, wie Fig. 68 zeigt, gehen die Windungen nach unten, wenn

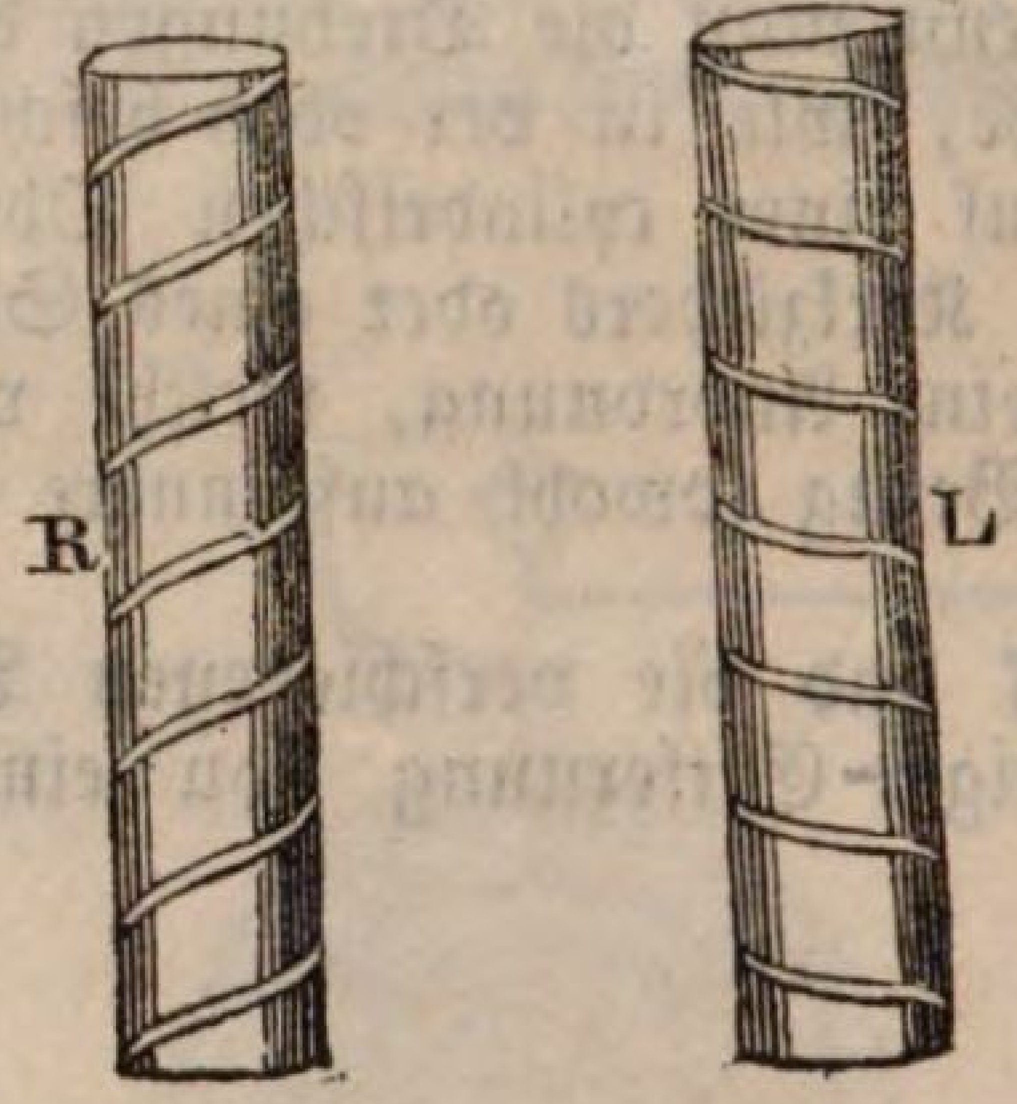


Fig. 68. Fig. 69.

die Schraube scheitelrecht mit der Achse steht, von der Rechten zur Linken auf derjenigen Seite, die für den Zuschauer die nächste ist, in der andern hat das Schraubengewinde die entgegengesetzte Richtung. Nun ist die magnetische Polarität des elektrischen Schraubengewindes, welche in dem Raum, den dasselbe umkreist, geäußert wird, von der Richtung abhängig, worin der Strom sich in Bezug auf eine Fläche, die im rechten Winkel zur Achse steht, bewegt; denn wenn der Strom auf der dem Zuschauer nächsten Seite absteigt (in der Horizontalschraube Fig. 67), so wird der Nordpol eines Magnetes in der Achse rechts und der Südpol links gerichtet werden, und diese Richtung wird dem Schraubengewinde von der Rechten zur Linken ertheilt werden, wenn der Strom von der Linken zur Rechten hindurchgeht; in dem Schraubengewinde von der Linken zur Rechten aber, wenn letzteres von der Rechten zur Linken geschieht. Nur eine geringe Aufmerksamkeit ist erforderlich, um den Einfluß zu erkennen, den diese Umstände auf die Erscheinungen haben; findet aber die Aufmerksamkeit nicht statt, so werden leicht Fehler begangen.

103. Wenn die Nadel genau in der Mitte der Achse des Schraubengangs liegt, so halten die entgegengesetzten Kräfte, welche die zwei Pole in zwei entgegengesetzte Richtungen treiben, die von jeder Windung des Drahtes hergeleitet wird, sich einander genau im Gleichgewicht und die Nadel bleibt in der Schwebe. Wird sie aus dieser Lage gestört, indem man sie näher an ein Ende schiebt, so wirken die aus den Windungen des Drahtes hergeleiteten Kräfte zusammen mit mehr Gewalt auf denjenigen Pol, welcher der nächste zum mittleren Punkt der Achse ist, sowohl weil sie näher sind, wie auch weil sie weniger in schräger Richtung wirken. Diese Kräfte werden deßhalb vor denjenigen vorherrschen, welche den mehr entfernten Pol in der entgegengesetzten Richtung treiben und der Magnet wird auf seine frühere Stellung in der Mitte der Achse zurückgeführt werden. Dies ist Figur 70 erläutert, welche den Durchschnitt des Schraubengewindes zeigt. SN ist die Stellung des Mag-

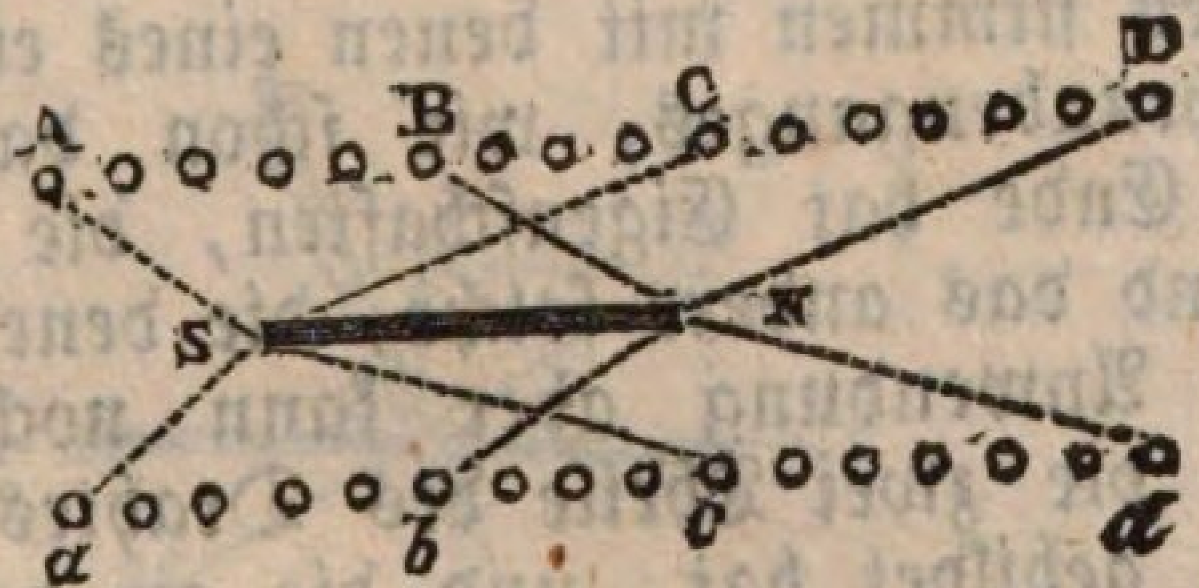


Fig. 70.

netes, etwas nach einer Seite des Mittelpunkts der Achse. Insoweit der Pol S Einfluß von den Kräften erleidet, die von den Windungen des Drahtes zwischen Aa und Cc hergeleitet werden, muß seine Neigung, sich nach außen zu bewegen, genau durch die Kräfte im Gleichgewicht gehalten werden, welche aus der Wirkung der Drähte zwischen Bb und Dd auf den Pol N entstehen, die ihn in der entgegengesetzten Richtung antreiben, weil diese Drähte genau dieselbe Lage zu jenen Polen haben. Der Pol N aber erleidet außerdem noch Einfluß von allen Drähten, die zwischen Bb und dem Ende Aa liegen, und der Pol S von allen denen, die zwischen Cc und Dd liegen. Diese zwei Wirkungen sind in entgegengesetzten Richtungen, die erstere aber ist kräftiger wie die letztere, 1) weil die Drähte zwischen Aa und Bb N näher sind, wie die, welche zwischen Cc und Dd nach S zu liegen;

2) weil sie in einer weniger schrägen Richtung liegen; sie werden deßhalb den ganzen Magnet auf die Mitte der Achse treiben.

104. So gewaltig ist die Wirkung eines Schraubengewindes dieser Art, daß eine kleine magnetische Nadel oder Stange, in der Art hineingesetzt, daß sie auf den unteren Theilen des Drahtes ruht, im Augenblick, worin die Verbindung mit der Volta'schen Batterie hergestellt ist, so daß der elektrische Strom durch die Drähte durchläuft, emporfährt, sich in die Achse stellt und der Schwerkraft entgegen dort hängen bleibt. Dies wird sogar in einer scheitelrechten Stellung des Schraubengewindes stattfinden, so daß das sonderbare Schauspiel eines schweren, durch unsichtbare Gewalt in die Luft emporgehobenen Körpers sich darbietet, welcher, wie die fabelhafte Bildsäule des Theamides, in einer Lage bleibt, welche von jeder materiellen Verbindung oder Stütze frei ist.

105. Die magnetischen Wirkungen eines Schraubengewindes an seinen zwei Enden und in einer Entfernung jenseits derselben stimmen mit denen eines einfachen Kreises oder eines Schraubenganges, wie schon dargelegt wurde, überein. Ein Ende hat Eigenschaften, die dem Nordpol ähnlich sind, und das andere solche, die denen des Südpols gleichen. Die Anwendung aber kann noch vollständiger werden, wenn die zwei Theile des Drahtes, welcher den Schraubengang gebildet hat, und die an den zwei Enden liegen, zurückgebogen werden, wie Fig. 71 bei NS zeigt, so

Fig. 71.

daß sie in geradem Laufe die Achse entlang zurückkehren, bis sie an den mittleren Punkt gelangen, wo sie wieder in rechten Winkeln gebogen werden, um aus dem Schraubengewinde herauszukommen, indem sie sich parallel mit einander

erheben, und in Spitzen zum Zweck der Aufhängung von Schalen endigen, wie dies schon im Fall des spiralförmigen Drahtes beschrieben wurde. Bisweilen ist einer dieser Drähte, anstatt aufwärts gebogen zu sein, so verfertigt, daß er scheitelrecht absteigt, und in einer scharfen Spitze unten endet, wo er in eine Schale eintaucht.

106. Die besondere Vorzüglichkeit dieser Anordnung, welche von Ampère ein elektrodynamischer Cylinder genannt wurde, um ihn dem Zustande eines magnetischen Cylinders ähnlich zu machen, besteht darin, daß alle magnetische Thätigkeit, welche die Schraubengänge des Gewindes in der Richtung der Länge, d. h. mit der Achse parallel, haben mögen, durch die entgegengesetzte Wirkung des umkehrenden Drahtes im Gleichgewicht gehalten werden. Da nämlich die Richtung eines jeden Schraubenganges des Drahtes, z. B. Ww, Fig. 72, nothwendig etwas schräg ist,

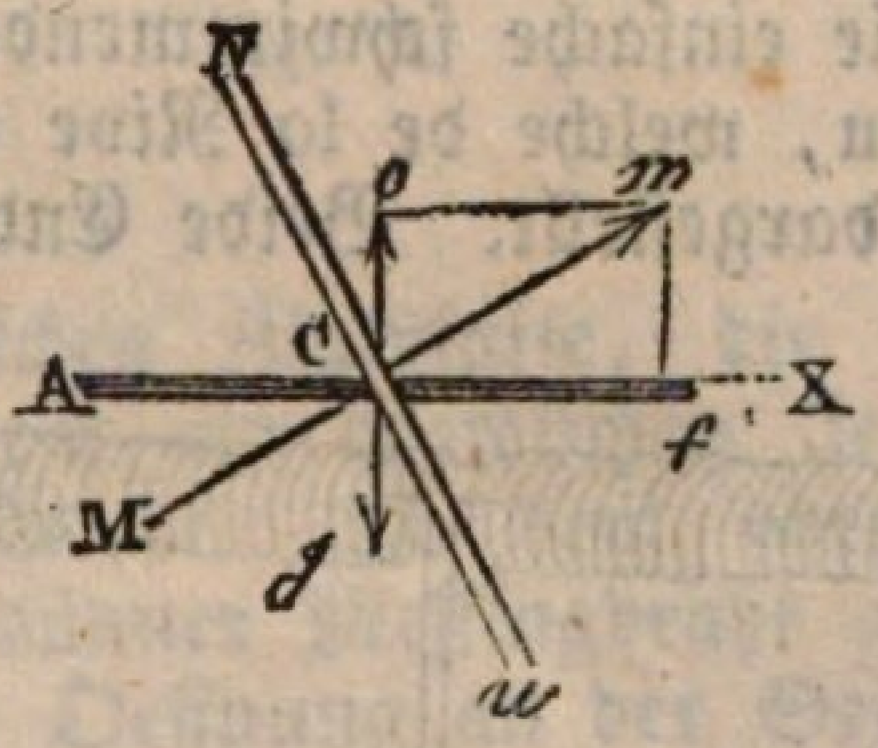


Fig. 72.

und da die magnetische Kraft, die sie äußert, Mm entlang im rechten Winkel zu dieser Richtung geht, so äußert sich die ganze Kraft nicht in der Richtung der Achse AX, sondern nur in demjenigen Theil, der durch Cf dargestellt ist, während ein anderer Theil Ce im rechten Winkel zur Achse gerichtet ist. Derjenige Theil des geraden Drahtes jedoch, welcher die Achse entlang geht, und in seiner Länge dem Zwischenraum zwischen den zwei anstoßenden Schraubengängen entspricht, äußert eine Kraft Cd, die Ce gleich und in der Richtung entgegengesetzt ist. Diese zwei Kräfte deßhalb heben sich einander auf, und es bleibt nur die Kraft Cf in der Richtung der Achse.

107. Der Versuch hat vollkommen die Genauigkeit dieser theoretischen Folgerung bestätigt, und das so eben be-

schriebene Schraubengewinde ist eine ziemlich genaue Darstellung dessen, was man sich als einfache oder elementare magnetische Faser denken kann; sie hat entgegengesetzte Pole auf beiden Enden, wovon der eine nördlich, der andere südlich steht. Es gehorcht der Wirkung der Magnete, die ihm dargeboten werden, indem es angezogen und abgestoßen wird, und bestimmte Stellungen in Bezug auf die Pole des Magnetes annimmt, ebenso als wenn es selbst ein Magnet wäre, von welchem es alle wesentliche Eigenschaften zu besitzen scheint, und an dessen Stelle man es in jeder Form des Versuches setzen kann. Es ist kaum nothwendig zu bemerken, daß die Polarität dieser Volta'schen Magnete, wie man sie nennen kann, nur auf Bedingungen beruht, welche von dem Durchgange des elektrischen Stromes durch dieselben abhängen, und daß sie im Augenblick aufhört, wie der Strom aufgehalten wird und plötzlich umgekehrt ist, wenn man die Richtung dieses Stromes verändert.

108. Um dem Vergleich der Eigenschaften Volta'scher Magnete mit denen der gewöhnlichen zu erleichtern, ist es passend, sie auf die einfache schwimmende galvanische Vorrichtung anzuwendeu, welche de la Rive erfunden hat. Eine solche ist Figur 73 dargestellt. Beide Ende der Drähte gehen

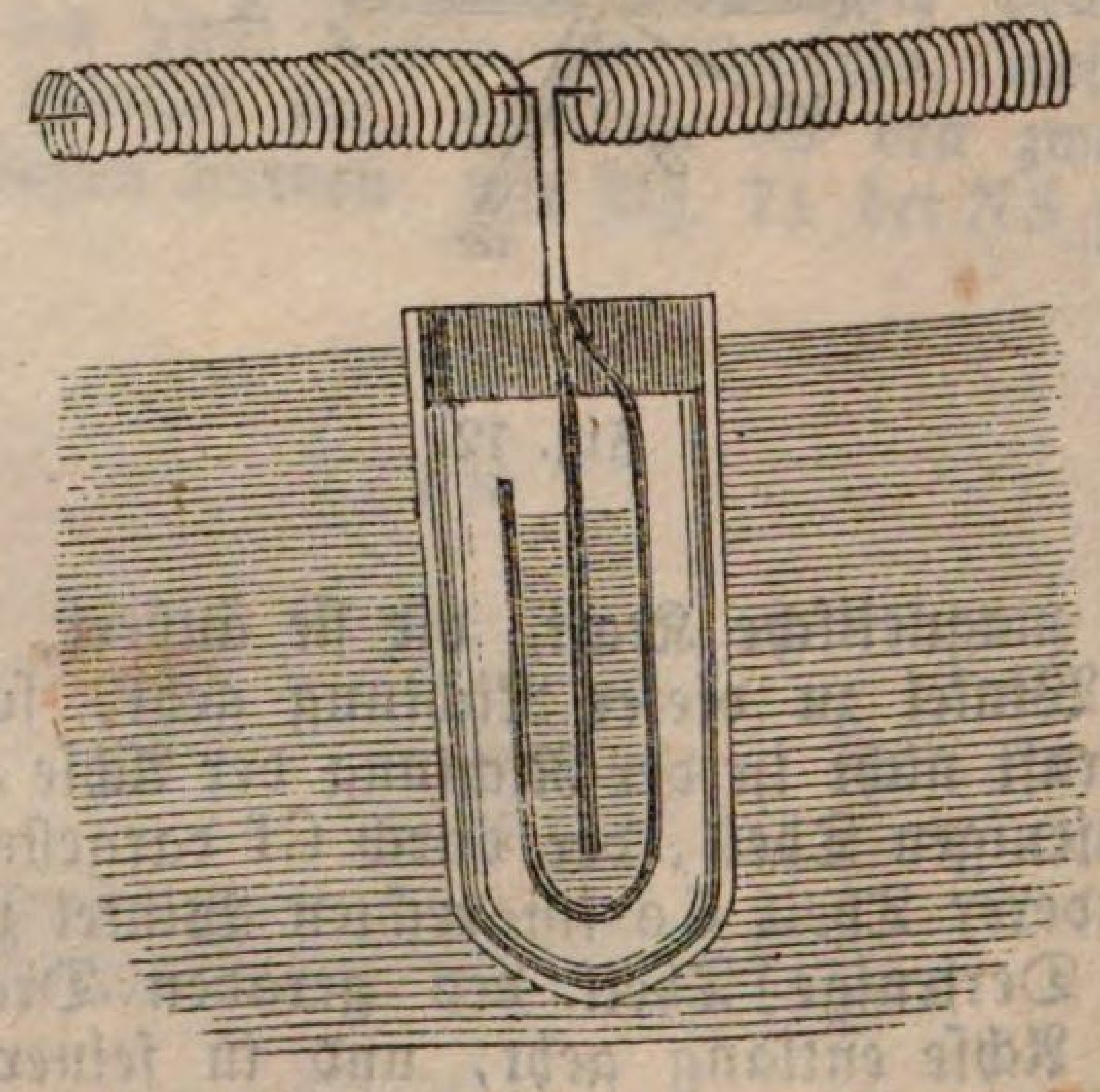


Fig. 73.

hier durch den Kork abwärts, indem der eine an die Zink-, der andere an die Kupferplatte genietet ist. Das Ganze ist in einen Glascylinder eingeschlossen, der zum Schwimmen auf dem Wasser sich eignet.

109. Eine sehr einfache Vorrichtung, die nach demselben Grundsatze wirkt, ist die von van den Boß Figur 74 dargestellt; sie besteht aus einer Kupferplatte von einem Quadrat-

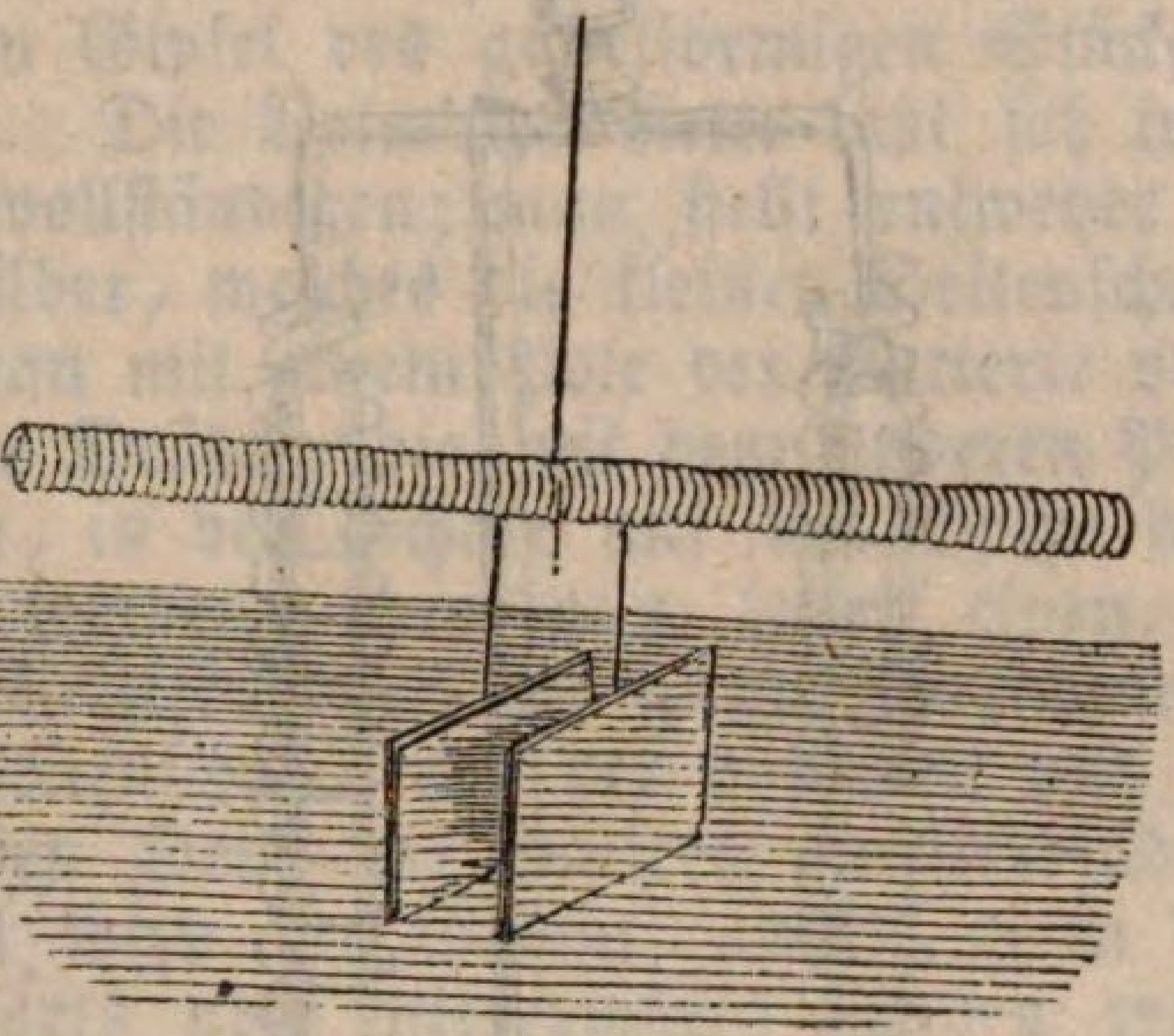


Fig. 74.

Zoll und einer ähnlichen Zinkplatte, die parallel an die erste gestellt ist, indem ein dazwischen liegendes Korkstück ihre Berührung verhindert. An dem oberen Theil eines dieser Platten ist ein dünner Messingdraht geheftet, welcher aufsteigt und in eine Oeffnung an der Seite eines langen Federkiels oder in einer Röhre eingebracht ist, die aus mehren übereinander eingefügten Theilen von Federkielen, von 6—7″ Länge besteht. Der Draht, welcher das Innere der Kiele entlang geht, kommt am Ende heraus, wird an der Außenseite der Röhre in ein Schraubengewinde seiner ganzen Länge nach gebildet und am andern Ende in den Kiel wieder eingeführt; indem er die Achse entlang zurückgeht, steigt er wieder ab bis er der andern Platte begegnet, woran er fest genietet ist. Die ganze Vorrichtung wird im Schwerpunkt auf einen ungezwirnten Seidenfaden aufgehängt. Nachdem die Platten, so gehalten, in eine verdünnte Säure getaucht sind, genügte die in ihnen erregte galvanische Wirkung, um das Schraubengewinde magnetisch zu machen.

Umdrehung des Schraubengewindes.

110. Eine sinnreiche Art, die Umdrehung eines Magnetes an einem Leitungsdrahte, der in ein Schraubenge-

winde gebogen ist, zu erläutern, ist von Watkins erfunden. Diese Vorrichtung, in Figur 75 dargestellt, besteht aus einem

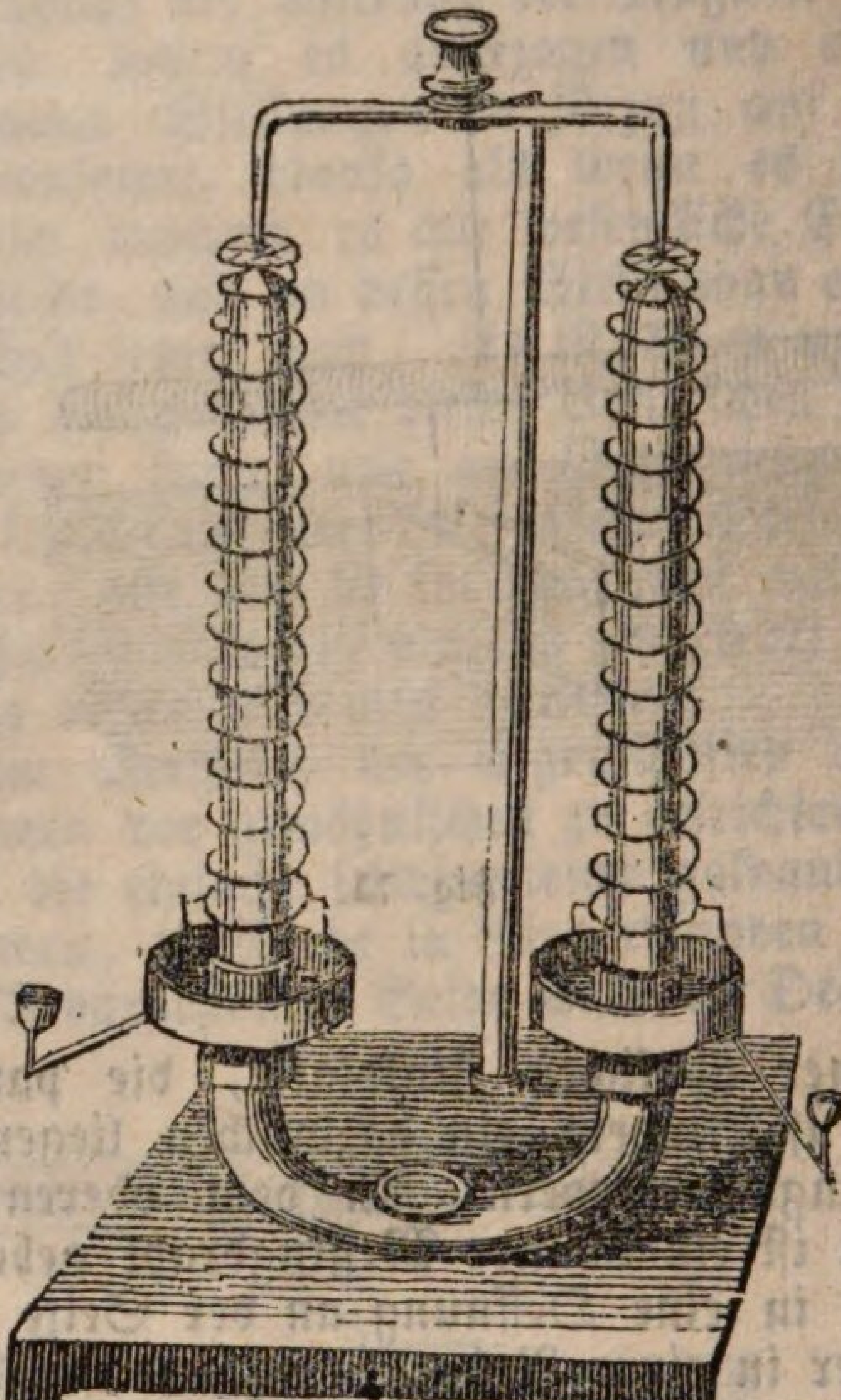


Fig. 75.

Hufeisenmagnete der an ein hölzernes Gestell befestigt ist; jeder der Pole des Magnetes ist von einem Schraubengewinde von Kupferdraht umringt, welcher eine dünne Stange quer auf dem Gipfel mit einer Nadelspitze auf seinem Mittelpunkte hat, die sich in einem kegelförmigen Loch am Ende des Magnetes umdreht; eine kleine Platinaschale befindet sich über derselben, die ein Kügelchen Quecksilber enthält. Das untere Ende dieser Schraubengänge endigt mit dünnen gespitzten Dräh ten, welche daran genietet sind und welche in Quecksilber eintauchen, das in einem hölzernen Behälter darunter enthalten ist; letzterer ist durch Schrauben

an den Schenkel des Magnetes befestigt. Ein messingenes Gestell erhebt sich von der Grundlage der Vorrichtung und hat ein gabelförmiges Stück am obern Ende, mit zweien in die zwei Platinaschalen auf den Gipfeln der Schraubengewinde absteigenden Spitzen. Eine weitere Schale findet sich auf dem Gipfel des gabelförmigen Stückes und enthält Quecksilber. Die Volta'sche Kette läßt sich in verschiedenen Weisen vervollständigen; man stellt entweder die Drähte in das Quecksilber, welches die kleinen Seitenschalen enthalten, und das man mit einem Pole der Batterie verbindet, während andere Drähte, die mit dem anderen Pole in Verbindung stehen, in der Schale auf der Spitze der Vorrichtung angebracht werden; oder man leitet einen und denselben Strom Elektrizität durch die ganze Vorrichtung, indem man eine der Seitenschalen mit der positiven und die andere mit der negativen Seite der Batterie in Verbindung setzt. Im erstern Fall wird der Strom, indem er in derselben Richtung aufwärts oder niederwärts in den zwei Windungen durchgeht, und Einwirkung von den verschiedenen Polen des Magnetes erleidet, zur Umdrehung in entgegengesetzten Richtungen angetrieben werden; in letzterem Fall werden die entgegengesetzten Richtungen der Ströme in beiden Drähten, indem der Strom in dem einen auf- und in dem andern absteigt, eine Einwirkung in entgegengesetzter Weise von den entgegengesetzten Polen des Magnetes erleiden und die Verbindung der zwei Gegensätze wird Umdrehung bei beiden Drähten erzeugen.

Achtes Kapitel.

Galvanometer.

111. Die Wirkung eines Schraubengewindes ist auf den Bau eines Instrumentes zur Entdeckung kleiner Beträge galvanischer Elektrizität oder Galvanoskope angewendet worden, ebenfalls auch auf einen Galvanometer oder auf ein Werkzeug zum Messen der Stärke irgend eines galvanischen Stromes. Zu dem Zweck muß der Durchmesser des Kreises die Länge der Nadel übersteigen, welche derselbe umringt, um der letzteren zu gestatten, daß sie sich in die Ebene des Kreises stellt, welcher auf sie einwirken soll. Wird z. B. die Nadel n s Figur 76 in dieselbe Fläche mit dem Draht W w gebracht, der von den zwei Schalen P N

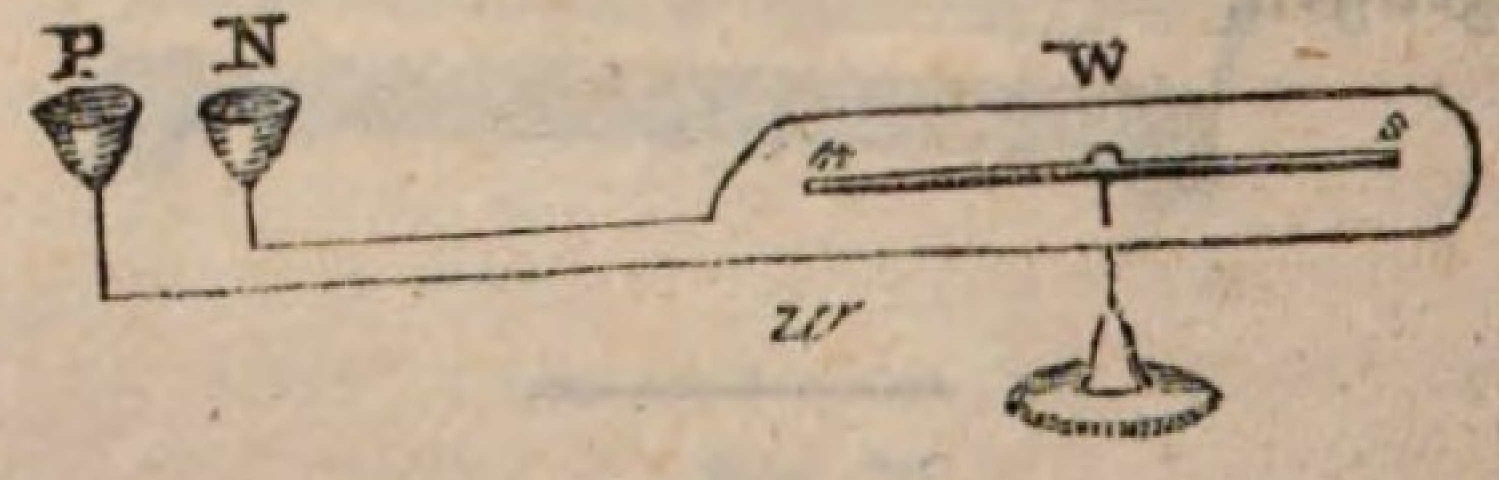


Fig. 76.

ausgeht und in runder oder ovaler Form gebogen ist, so daß er sie einschließt, so wird der Einfluß jedes Theiles des Drahtes, wenn er so die Nadel umringt, dahin gehen, daß er beide Pole in derselben Richtung umdreht, bis sie eine Stellung im rechten Winkel zur Fläche der Figur einnimmt. Ist diese Fläche zum magnetischen Norden und Süden gerichtet, d. h. fällt sie mit der Richtung zusammen, welche die Nadel durch den Einfluß der Erde sich selbst überlassen einnimmt, und wird alsdann ein schwacher Strom Elektrizität durch die Drähte geleitet, so verursacht die Wirkung

dieses Stromes eine solche Abweichung der Nadel von der Ebene des magnetischen Meridianes, daß dieselbe die Kraft im Gleichgewicht halten wird, welche der Magnetismus der Erde ausübt, indem er sie nach dieser Ebene hinbringt. Im Verhältniß wie die Nadel von dem Meridian zurück geht, steigert sich die Stärke der Erdkraft, während zugleich die elektromagnetische abnimmt; die Zahl der Grade woran sie anhält, und welche das Gleichgewicht zwischen diesen beiden Kräften bestimmen, wird deßhalb ziemlich genau die Stärke des galvanischen Stromes anzeigen, welcher die Drähte durchläuft.

112. Die Wirkung einer einzelnen Windung oder eines Schraubenganges läßt sich durch Vervielfältigung steigern, denn auf diese Weise wirkt der Strom wiederholt während seines Laufes in den Umdrehungen des Drahtes auf die Pole derselben Nadel. Allerdings wird die elektromagnetische Kraft der Strömung bisweilen durch eine solche Ausdehnung in der Linie ihres Laufes geschwächt; allein ihre Verminderung aus dieser Ursache wird kaum merkbar sein, wenn die Totallänge des Drahtes nicht sehr beträchtlich im Verhältniß zum ganzen Umlauf des Stromes mit Einschluß der Volta'schen Batterie ist. Um zu verhindern, daß die elektrische Strömung einen kürzeren Lauf wie den beabsichtigten erhält, ist es nothwendig, die anliegenden Theile der Drähte vor gegenseitiger Berührung zu schützen; denn eine solche Berührung würde den direkten Durchgang des Stromes von einem zum andern gestatten. Deßhalb muß der Draht entweder mit Seidenfaden umwickelt oder mit Siegellack auf der ganzen Länge seines Gewindes überzogen werden. Ein nach diesem Grundsatz verfertigter Galvanometer ist bald nach der Entdeckung des Elektromagnetismus von Schweigger in Halle erfunden und elektromagnetischer Multiplikator genannt worden. Man hat verschiedene Formen diesem Instrument ertheilt, sowohl um seine Empfindlichkeit zu steigern, wie auch um es verschiedenen Anwendungsarten unter besonderen Umständen anzupassen.

114. Eine der einfachsten Formen des Instrumentes ist die Fig. 77. dargestellte, worin eine gewöhnliche Compaßnadel auf einem Zapfen schwebt, der aus einem hölzernen Gestell hervorgeht und von einer großen Anzahl Drahtwindungen umringt ist, die in der Form eines scheitelrechten Parallelogramms gebogen sind; die zwei Enden des Drahtes gehen wie gewöhnlich in kleine Metallschalen, die Quecksilber enthalten, aus, um die Verbindung mit einer galvanischen Kette herzustellen, deren elektrischen Zustand man

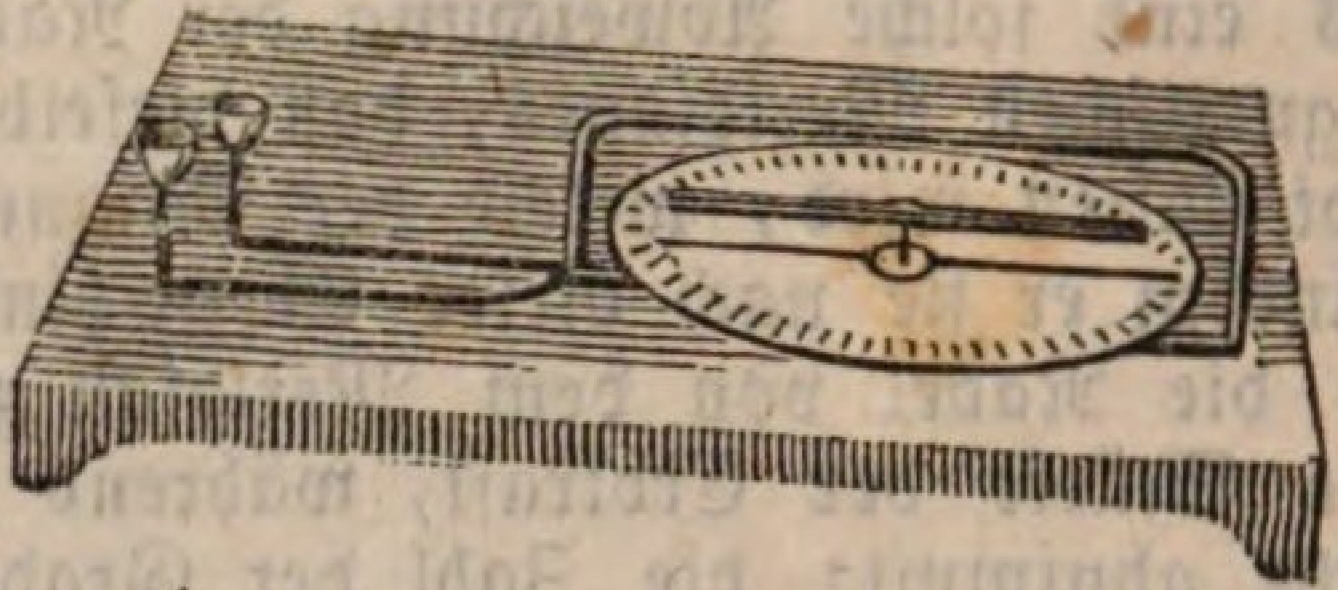


Fig. 77.

erkennen und messen will. Ein Kreis mit Gradabtheilungen und einer dunklen Querlinie, die mit der Fläche der Drähte zusammenfällt, ist auf den Zapfen unmittelbar unter der Nadel zu befestigen, um deren Abweichungen in jeder Richtung von der Fläche anzuzeigen.

115. Eine größere Beweglichkeit kann der Nadel durch die zartere Aufhängungsweise ertheilt werden, die man in der Drehungswage anwendet. Zu dem Zweck kann man sie in der Mitte an einen feinen Faden oder, was noch besser ist, an einer bloßen Seidenfaser aufhängen, die in einer Röhre eingeschlossen und an das untere Ende eines kurzen Metalldrahtes befestigt wird, welcher durch den Deckel hindurchgeht, der die Röhre oben schließt und in der Oeffnung mit einem Grad von Reibung umgedreht werden kann, so daß die Nadel sich dadurch in irgend eine erforderliche Horizontallage bringen läßt. Die zu dem Zweck erheischte Winkeldrehung wird durch einen Weiser angezeigt, der auf dem obern Ende des Drahtes befestigt ist und sich auf einen kleinen in Grade abgetheilten Kreis bezieht, der unmittelbar oben auf dem Deckel unter ihm liegt. Alle diese Theile sind in dem scheitelrechten Durchschnitt Fig. 78 dargestellt. Die anderen Theile der Vorrichtung, soweit sie sich auf die Schraubengänge des Gewindes der Nadel beziehen, gleichen denen im ersteren Instrument, mit Ausnahme, daß die Drähte in der Mitte des oberen Theiles des Gewindes ein wenig getrennt sein müssen, um eine Oeffnung für den freien Durchgang des Fadens zu lassen, welcher die Nadel hält. Ein Kreis mit Gradabtheilung, im Durchmesser der Länge der Nadel gleich, befindet sich, wie im ersten Fall, unmittelbar unter der Nadel. Compaß, Draht und Karte sind in einer Büchse eingeschlossen, um sie gegen die Bewegungen der Luft zu sichern; der Deckel, von dessen Mitte die aufrechte Röhre aufsteigt, muß von Glas sein, damit man die Stellung der Nadel sehen kann.

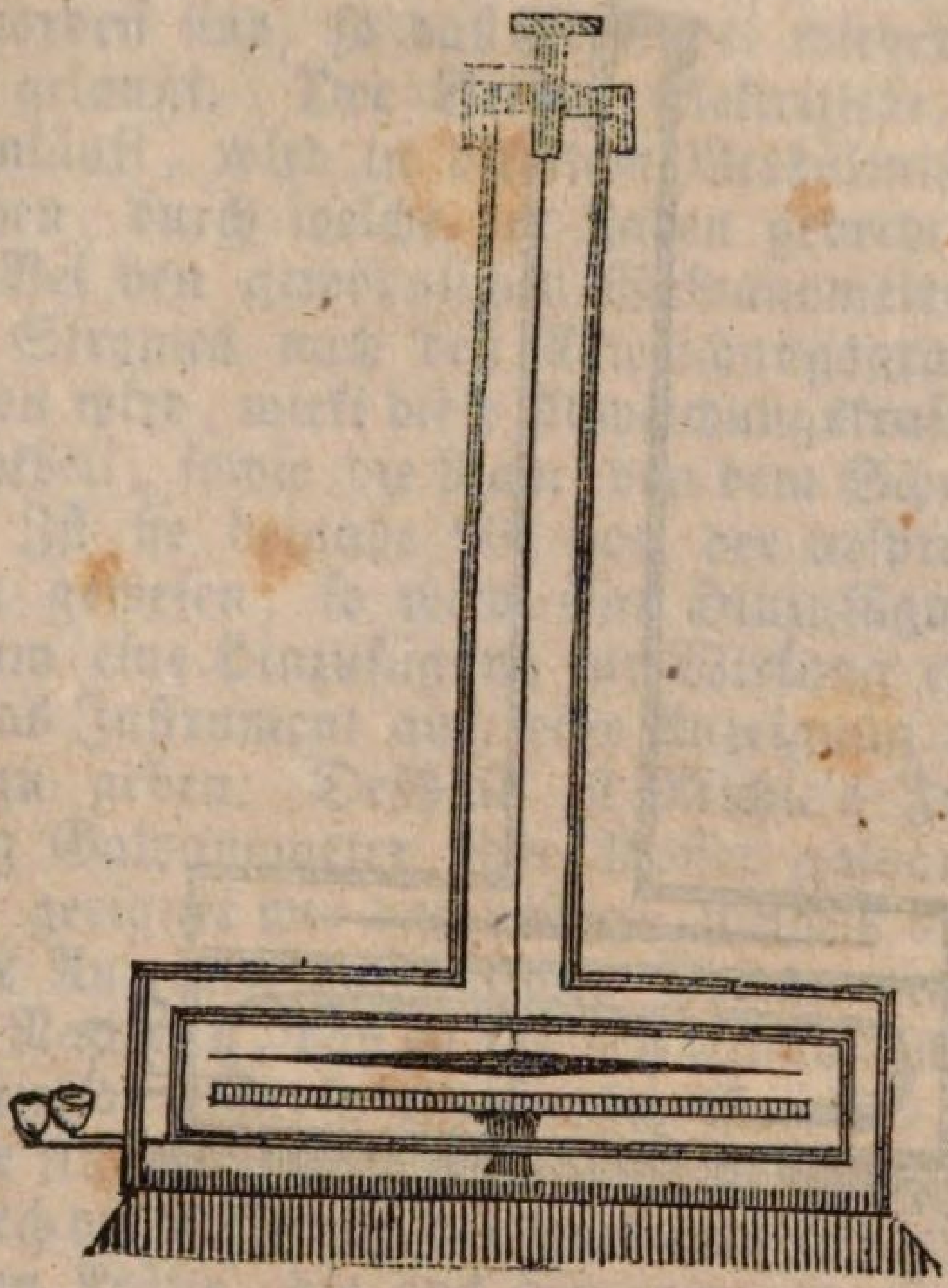


Fig. 78.

116. Ritchie hat kürzlich einen Drehungs- (Torsion) Galvanometer vorgeschlagen, worin er einen Glasfaden als Material zur Aufhängung der Nadel anwendet. Figur 79. ist ein scheitelrechter Durchschnitt dieses Instrumentes, von welchem er folgende Beschreibung gibt: „Man nehme einen feinen Kupferdraht und bedecke ihn mit einem dünnen Ueberzug von Siegellack. Man rolle ihn um einen erwärmten Cylinder von 1 oder 2″ Durchmesser 10—20 oder mehremale, je nach der erheischten Empfindlichkeit des Instrumentes. Man drücke die entgegengesetzten Seiten der runden Schraubenwindung zusammen, bis sie gänzlich parallel und einen Zoll oder 1½″ lang werden. Man hefte das Gewinde an eine gehörige Sohle und verbinde die Enden der Drähte mit zwei Metallschalen, wovon jede einen Tropfen Quecksilber enthält. Man kleistere ein rundes in gleiche Theile gesondertes Papierstück horizontal auf die obere Hälfte des Gewindes mit einer schwarzen durch den Mittelpunkt gezogenen Linie und in derselben Richtung wie die Mitte des Schraubengewindes. Man hefte einen kleinen aus einer Nähnadel

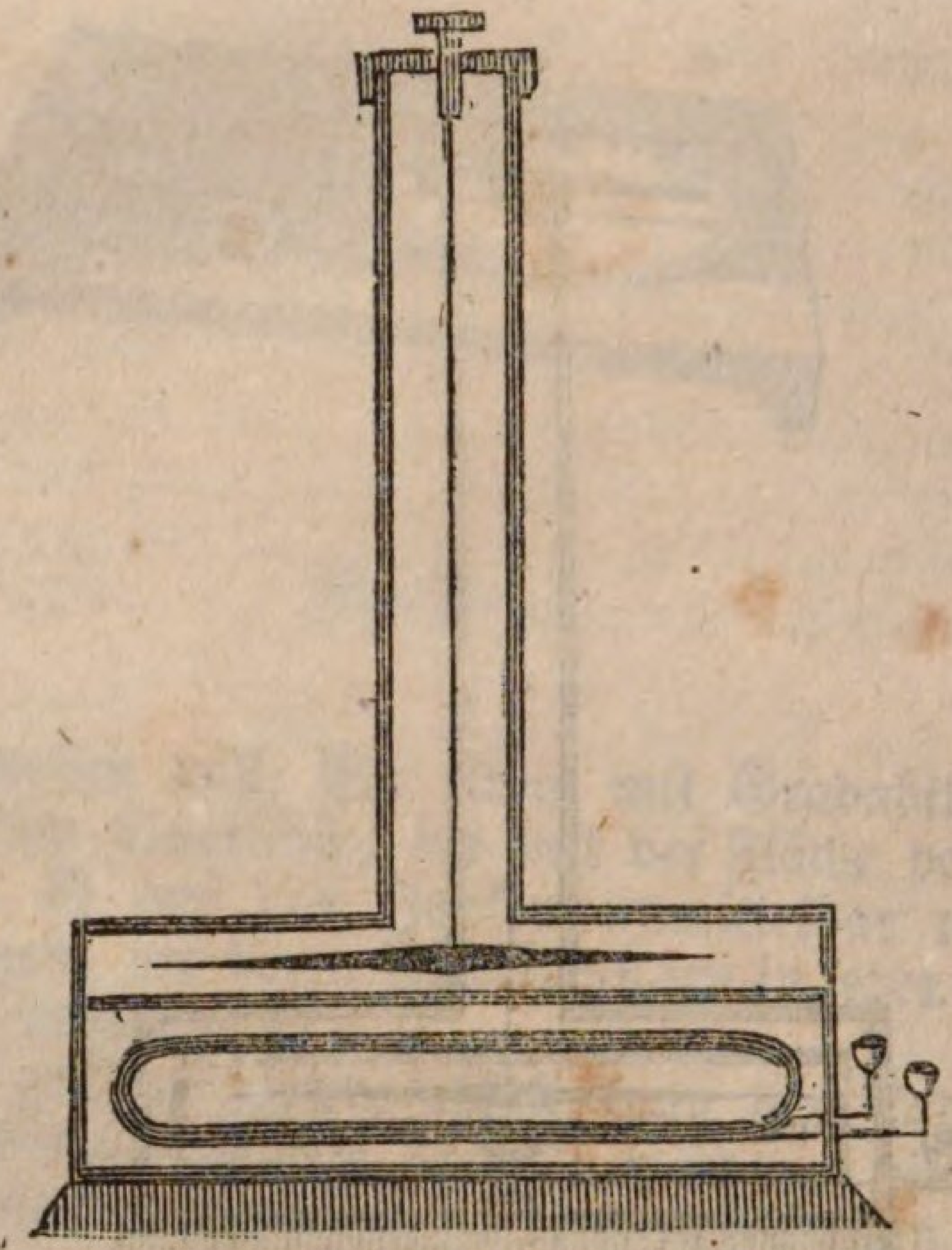


Fig. 79.

oder einem Stahlstück verfertigten Magneten an das untere Ende eines feinen Glasfadens, während das obere mit Siegellack in der Mitte eines beweglichen Weisers befestigt ist, wie bei der gewöhnlichen Drehungswage. Der Glasfaden ist in eine Glasröhre zu verschließen, welche in eine Scheibe von dickem Glase paßt, das die obere Seite einer hölzernen Büchse bedeckt; letztere enthält die Gewinde und die Magnetnadel."

117. Dieses Werkzeug befähigt uns, die Stärke der elektrischen Ströme anzuschlagen, die den Draht des Gewindes entlang laufen. Zu dem Zweck ist die Nadel unmittelbar über die Meridianlinie, die auf einem papiernen Kreis gezogen ist, und folglich auch über und in der Richtung der Drähte zu stellen, welche die obere Seite des Gewindes bilden. Sobald ein Strom Elektrizität die Drähte entlang geleitet wird, so wird die Nadel weggerichtet. Der Glasfaden ist alsdann zu drehen, indem man den Weiser umwendet, bis die Nadel in ihre frühere Stellung gelangt, und die Zahl der Grade der Drehung ist zu notiren. Einen ähnlichen Versuch kann man zunächst mit einem anderen

Strome machen, nachdem die Drehungen des Fadens wieder entfernt worden sind, so daß die Nadel wieder in die frühere Stellung gelangt. Der Betrag Elektrizität, der um die Drähte umläuft, wird in direktem Verhältniß zur Zahl der Grade stehen, durch welche der Faden gedreht worden ist.

118. Bei den gewöhnlichen Galvanometern, worin die Kraft des Stromes nach den Abweichungsgraden der Nadel angeschlagen wird, wirkt diese Abweichungskraft mit mechanischem Nachtheil, sowie die Nadel von dem Schraubengewinde abweicht. Ist sie beinahe 90° von der ursprünglichen Lage abgewichen gewesen, so wird eine Hinzufügung zum Vermögen kaum eine Hinzufügung zur Wirkung erzeugen; folglich hört das Instrument auf, eine Anzeigung eines stärkeren Stromes zu geben. Deßhalb ist Ritchie's Instrument zur Benennung Galvanometer oder Messer galvanischer Elektrizität besser geeignet wie das erstere, welches bloß ein Galvanoskop oder Anzeiger galvanischer Stömungen ist. Es hat jedoch den Nachtheil, daß es für den Einfluß schwacher Voltascher Elektrizität nicht so empfindlich ist. Die Nadel, da sie sich auf der Außenseite des Gewindes befindet, erleidet allein Einfluß durch die Differenz der zwei entgegengesetzten elektromagnetischen Kräfte, die aus den entgegengesetzten Strömen in dem oberen und unteren Theil des Gewindes entsteht. In der ersteren Anordnung wird die Nadel, da sie sich zwischen diesen beiden Theilen des Gewindes befindet, durch die Summe dieser Kräfte abgewandt.

119. Die Empfindlichkeit des Galvanoskopes läßt sich sehr steigern, wenn man die Richtungskraft der Nadel, die aus dem magnetischen Einfluß der Erde entsteht, neutralisirt, Cumming brauchte zu dem Zweck eine Magnetnadel, die sich unmittelbar unter der beweglichen befand. Nobili verbesserte diese Vorrichtung, indem er die Neutralisirungsnadel an die hauptsächlichste befestigte, und die eine über die andere und parallel mit derselben allein mit Polen in entgegengesetzter Richtung stellte. Sie werden befestigt, indem man sie durch einen Strohhalm steckt, der an einem Ende wie in der beschriebenen Vorrichtung hängt. Die Entfernung zwischen der Nadel ist solcher Art, daß der oberen Windung der Drähte gestattet ist, zwischen ihnen hindurchzugehen; es ist nämlich eine Oeffnung durch die Trennung der Drähte in der Mitte des Schraubengewindes gelassen, um der Mitte des Strohes einen freien Durchgang zu gestatten. Ein Kreis mit einer Gradabtheilung, worauf die Abweichung der Nadel gemessen wird, befindet sich über dem Draht an der oberen Oberfläche des Rahmens des Instrumentes und hat für den freien

Durchgang der Nadel und des Strohhalmes eine Oeffnung in der Mitte. Das Ganze dieser Anordnung läßt sich Fig. 80 erläutern, welche einen Durchschnitt der Vorrichtung darstellt.

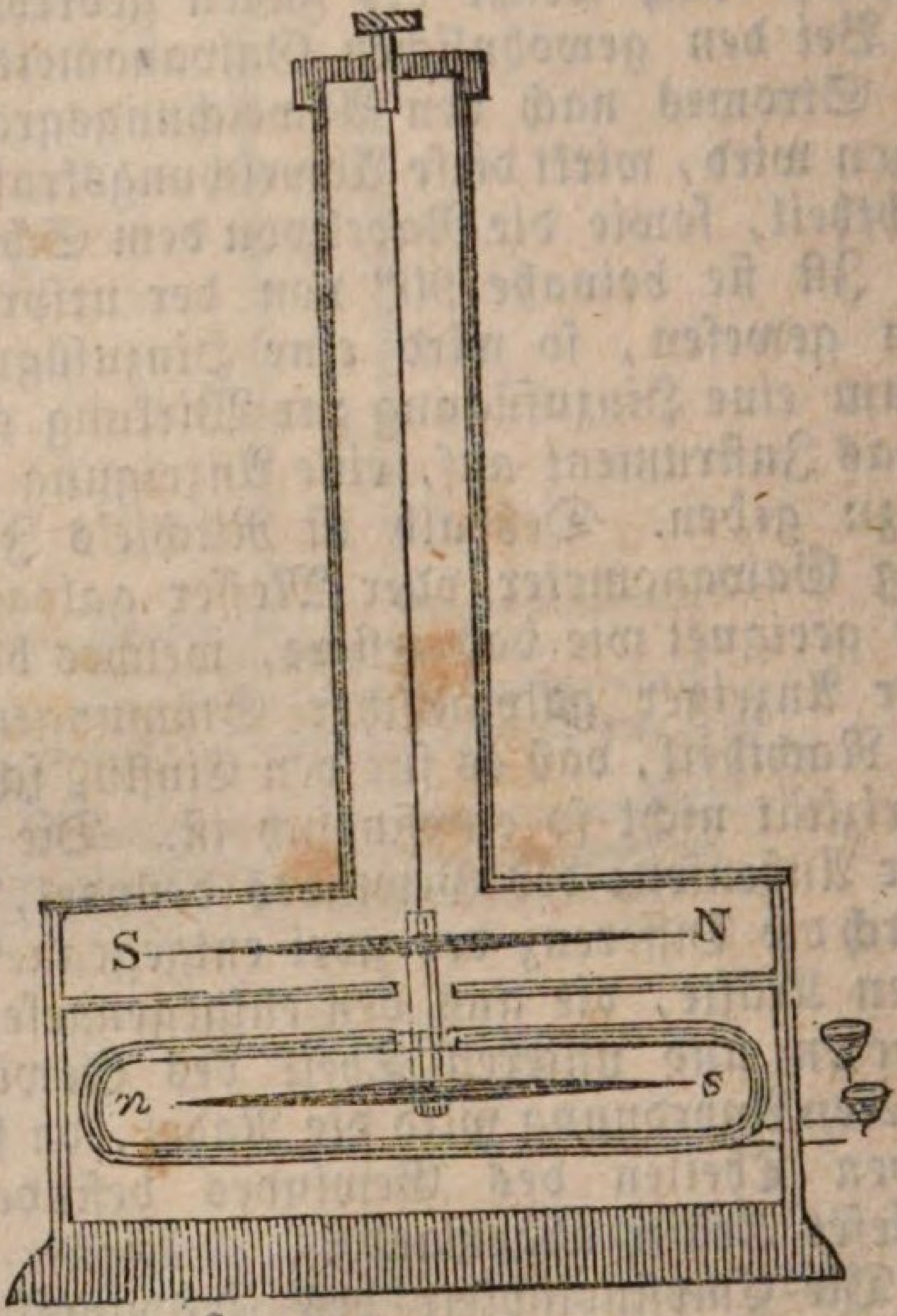


Fig. 80.

sn ist die untere Nadel, die vom Drahtgewind umgeben, und welche mit der oberen Nadel NS durch den zwischenliegende Strohhalm verbunden ist, der, wie man sieht, durch das obere Horizontalgewinde der Drähte und auch durch die Centralöffnung der Karte über denselben geht, worauf der in Grade abgetheilte Kreis gezeichnet ist. In Nobili's Instrument hatte der Rahmen 22''' Länge, 12''' an Weite und 6''' an Höhe. Der Draht war von Kupfer mit Seide bedeckt, von $^1/_5$''' Durchesser und 29—30' Länge und legte 72 Umdrehungen um den Rahmen zurück; die Nadeln waren 22''' lang, 3''' weit, $^1/_4$''' dick und lagen an dem Strohhalm 5''' von einander.

120. Die Anordnung der entgegengesetzten Polaritäten der zwei Nadeln sollte eine solche sein, daß die Richtungskraft

der Verbindung, die sich aus dem Erdmagnetismus ergibt, sehr nahe im Gleichgewicht gehalten wird, indem der zusammengesetzten Nadel gestattet ist, nur eine genügende Kraft zu behalten, um sie in eine bleibende Stellung zu bringen, wenn ein elektrischer Strom keinen Einfluß übt. Die besondere Vorzüglichkeit der Vorrichtung beruht darauf, daß beide Nadeln, so weit die Umdrehungsneigung betheiligt ist, Einfluß durch den anstoßenden Draht erleiden. Die untere Nadel in ähnlicher Lage wie die in der einfachen beschriebenen Vorrichtung (§. 91) erleidet die Wirkung durch die Summe der Kräfte der Ströme in jedem Theile des Gewindes. Die obere Nadel, die in Beziehung auf die Drähte sich in derselben Lage befindet, erleidet Einfluß durch den Ueberschuß der Kraft in dem oberen ihm am nächsten befindlichen Strome. Diese Kraft wirkt darauf in der umgekehrten Richtung derjenigen, worin sie auf die untere Nadel einwirkt, weil sie an der entgegengesetzten Seite liegt; da aber die Pole sich auch in umgekehrter Lage befinden, so wird die Richtungskraft auf beide Nadeln dieselbe. Deßhalb haben wir, außer der Vergrößerung der Empfindlichkeit in Folge der Entfernung des größeren Theiles der Widerstandskraft, die aus dem magnetischen Einfluß der Erde stammt, auch eine Vermehrung der Kraft durch Hinzufügung der oberen Nadel. Auch findet sich eine Bequemlichkeit in Anwendung der oberen Nadel als Weiser, denn da man gestattet hat, den mit der Gradabtheilung versehenen Kreis über statt unter das Gerüst zu stellen, so lassen sich die Windungen der Schraubengänge weit mehr einander nähern wie bei dem gewöhnlichen Instrument. Dies macht dasselbe fester und kräftiger, wegen der größeren Annäherung der unteren Nadel an die Drähte. Der Anschlag der Abwendung der Nadel in Bezug auf den Kreis mit der Gradabtheilung kann auch bequemer gemacht werden, weil das Gesicht durch Gegenwart der Drähte über der Nadel kein Hinderniß wie bei der gewöhnlichen Verfertigung hat. Es ist kaum nothwendig zu bemerken, daß man bei Aufzeichnung der Gradabtheilung den Nullpunkt so stellen muß, daß er mit der Lage der obern Nadel übereinstimmt, wenn sie der ungestörten Wirkung des Erdmagnetismus überlassen ist.

121. Sind die magnetischen Kräfte zweier Nadeln, die in Nobili's Galvanometer angewandt werden, vollkommen gleich, so müssen sie genau einander neutralisiren, so weit dies die Richtungskraft der Erde betrifft, und das System der Nadeln wird bei jeder Stellung keinen Einfluß erleiden. Dies würde jedoch den Zweck des Instrumentes vereiteln, welcher da-

hin geht, eine schwache elektrische Kraft zu messen, indem man sie ins Gleichgewicht mit der andern Kraft, die gleichfalls schwach ist, bringt, die jedoch stets wirkt und für das Maß empfänglich ist. Wenn deßhalb eine vollkommen astatische Nadel, d. h. eine solche, welche gar keine Richtungskraft besitzt, angewandt wird, so ist es nothwendig, eine andere schwache, aber veränderbare und leicht meßbare Kraft ausfindig zu machen, um dies Gleichgewicht zu erhalten; eine solche Kraft ist die der Drehung; somit scheint es, daß der größte Grad der Vollkommenheit, der in dem Maß kleiner elektromagnetischer Kräfte erreichbar ist, sich dadurch erreichen läßt, daß man den Grundsatz der Drehung von Ritchie auf die Vorrichtung von Nobili anwendet, nachdem die Nadeln vorher vollkommen astatisch gemacht worden sind.

122. Eine Ausdehnung des Grundsatzes von Nobili's Galvanometer ist von Lebaillif vorgeschlagen worden, der eine Verbindung von vier Nadeln anstatt zweier anwendet; ein Paar wird an dem obern Theil des Gewindes und ein Paar an das untere in der Weise angewandt, wie es der Durchschnitt Fig. 81 zeigt, wo NS, SN das obere Paar Magnete, mit den Polen in entgegengesetzter Richtung, und SN, NS

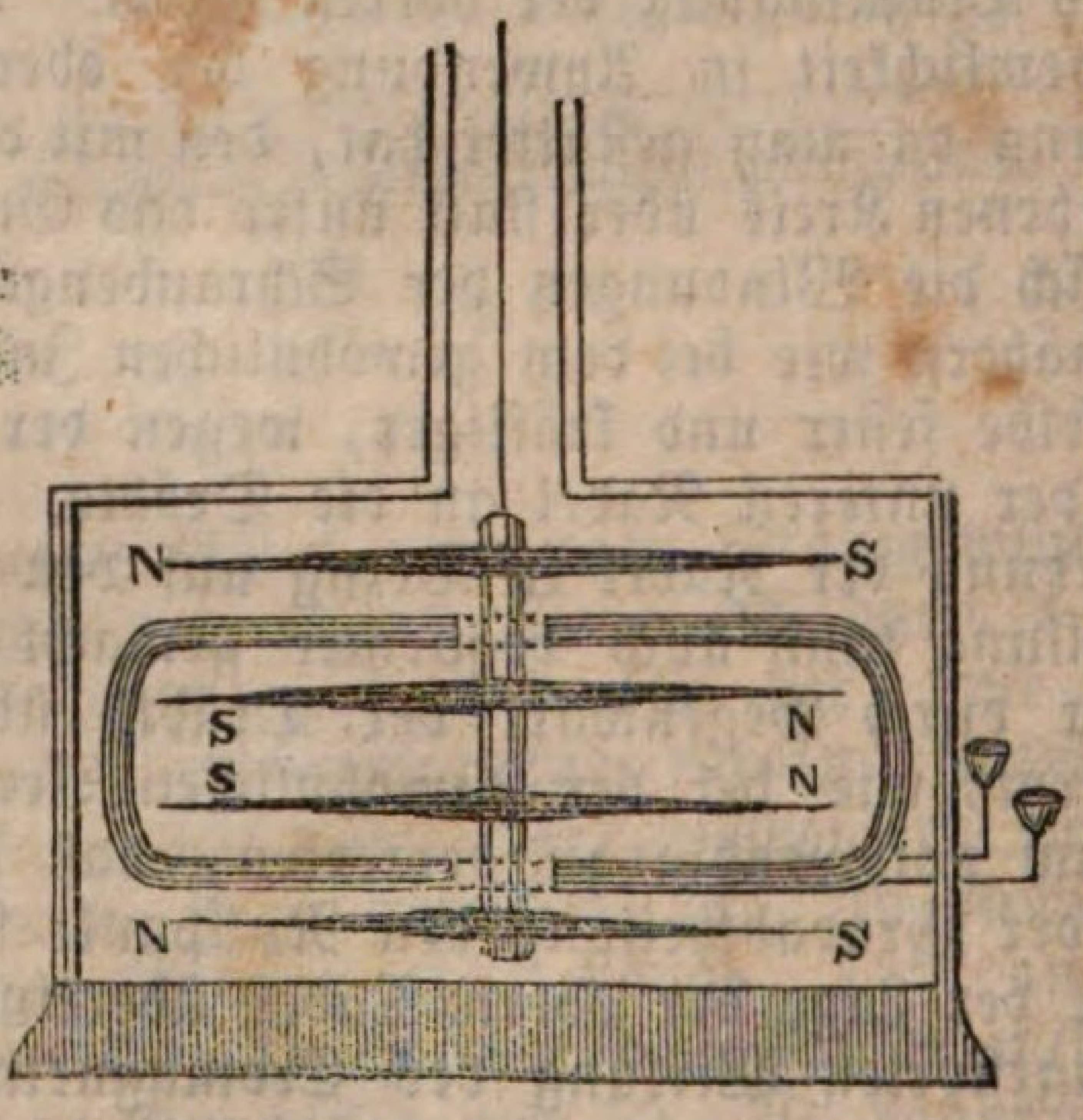


Fig. 81

das untere Paar, gleicherweise mit solchen Polaritäten darstellt; die beiden zwischenliegenden Magnete, welche si innerhalb der Windungen des Drahtes befinden, haben

ihre Pole in gleicher Lage, wie die äußeren, d. h. die oben und unten liegenden; das Ganze ist an dieselbe scheitelrechte Achse geheftet, die ein Stück Stroh ist, welches frei durch die Drähte und den Kreis mit der Gradabtheilung geht, welcher den Gipfel des Rahmens bildet, der sowohl Drähte wie Nadeln einschließt. Ein Weiser ist am oberen Ende der Achse befestigt, um die Stellung der Drähte anzugeben. Die Achse selbst hängt vom Ende eines horizontalen Armes, der von einer aufrechten Säule an der Seite der Vorrichtung ausgeht. Um das Gewinde zu bilden, braucht Lebaillif statt eines einzigen Drahtes, der etwa 300 Fuß Länge hat, fünf parallele Drähte, jeden von 60′ Länge, deren Enden von der seidenen Decke entblößt und in ein Bündel durch Druck mit beträchtlicher Kraft vereinigt sind. Auf diese Weise theilt sich der elektrische Strom, der am einen Ende eingeht, in fünf Theile und fließt gleichsam in jeden durch fünf besondere Kanäle. Zu Gunsten dieser Anordnung ist angegeben, daß ein verhältnißmäßig größerer Betrag Elektrizität durch diese Vervielfältigung der Versendungskanäle fortgeleitet werden kann, während die Verminderung der Stärke, die aus der Uebersendung desselben Bruchtheiles dieses Stromes entsteht, der durch einen dieser Drähte die große Länge des Drahtes hindurchgeht, vermieden wird. Versuche von genügender Ausdehnung, mit genügender Sorgfalt geleitet, scheinen zu fehlen, um uns in Stand zu setzen, einen sicheren Schluß über diesen Gegenstand zu bilden. Die einzigen Untersuchungen hierüber, von denen wir Bericht geben können, sind die von Kaemtz, welcher zum Schluß gelangte, daß die Kraft des Instrumentes in der Abwendung der Nadel genau im Verhältniß zur Zahl der Windungen des Drahtes steht. Sechs Windungen geben sechsmal die Kraft einer Windung; indeß eine weit ausgedehntere Nachforschung würde erforderlich sein, um einen solchen Grundsatz aufzustellen und die Grenzen seiner Wirksamkeit darzulegen.

123. Der Vortheil, der aus der Anwendung von vier Nadeln statt zweier bei Lebaillif's Instrument besteht, scheint außerordentlich zweifelhaft; man hat nämlich zu bedenken, daß, wenn einerseits eine größere Kraft durch die Wirkung des Drahtes auf die hinzugefügte Nadel gewonnen wird, andererseits auch das zu bewegende Gewicht vergrößert wird, so daß wahrscheinlich dadurch Nichts für die Bewegung, welche diese Kraft anzeigt, gewonnen wird.

124. Wegen des überlegenen Leitungsvermögens des Silbers sollte man Drähte dieses Metalles bei der Anwendung dem Kupferdraht vorziehen; sie können dann sogar so

dünn gemacht werden, daß sie nur $1/60''$ Durchmesser haben, wodurch eine größere Zahl Windungen in demselben Raume gestattet ist.

125. Um die Stärken zweier elektrischen Strömungen zu vergleichen ist ein Instrument erfunden worden, welches man Differenzial-Galvanometer genannt hat. Zwei Drähte gleicher Größe werden zusammengeflochten, so daß sie einen zusammengesetzten Draht bilden, der um die Compaßnadel gewunden ist, wie in den schon beschriebenen Instrumenten; die vier Enden der Drähte werden in Quecksilber getaucht. Dadurch lassen sich die zwei Ströme, welche mit einander verglichen werden sollen, in entgegengesetzten Richtungen durch die ganze Ausdehnung des Gewindes leiten. Da diese entgegengesetzten Ströme auf die Nadel unter gleichen Umständen einwirken, werden sie, wenn sie gleich sind, sich genau im Gleichgewicht halten, und die Nadel wird zwischen den gleichen und entgegengesetzten Kräften im Gleichgewicht bleiben; sind aber die Ströme an Stärke ungleich, so wird die Nadel nur durch ihren Unterschied Einfluß erlangen, den sie deßhalb durch ihre Bewegungen anzeigen wird.

126. Wenn wir im Gegentheil nur das Dasein und die Richtung eines elektrischen Stromes zu erkennen wünschen, so muß man dem Strome die Nadel so nahe wie möglich bringen; so daß die Wirkung auf die Pole ungemein stark ist. Folgende Form ist deßhalb dem Galvanoskop gegeben worden. Die Nadel hängt in der Mitte an einem feinen Faden zwischen vier Spiralgewinden, deren Mittelpunkte den Polen der Nadel sehr nahe gebracht sind; derselbe Strom wird durch alle vier hindurch gesandt, deren Windungen so gerichtet sind, daß sie Abstoßung der anstoßenden Pole auf der einen und Anziehung auf der andern erzeugen. Die Anordnung ist Figur 82 gezeigt, wo M der am Faden T hängende Magnet zwischen den vier scheibenförmigen Gewinden ist, die aus den Windungen eines Drahtes bestehen, der aus der Schale P geht und in der Schale N endigt. Auf jeder Scheibe ist die Kraft, welche senkrecht zu den Flächen der Scheiben wirkt, im Verhältniß zur Zahl der Umdrehungen des Drahtes vervielfältigt, und da die spiralen Windungen in derselben Richtung in allen Scheiben geschehen, so wirkt ihre Thätigkeit zusammen, um in der Nadel eine Abweichung in derselben Richtung zu erzeugen; so wird die ganze Kraft viermal die eines einzigen sein. Diese Anordnung gestattet auch eine Annäherung der Nadel dicht an die Scheiben.

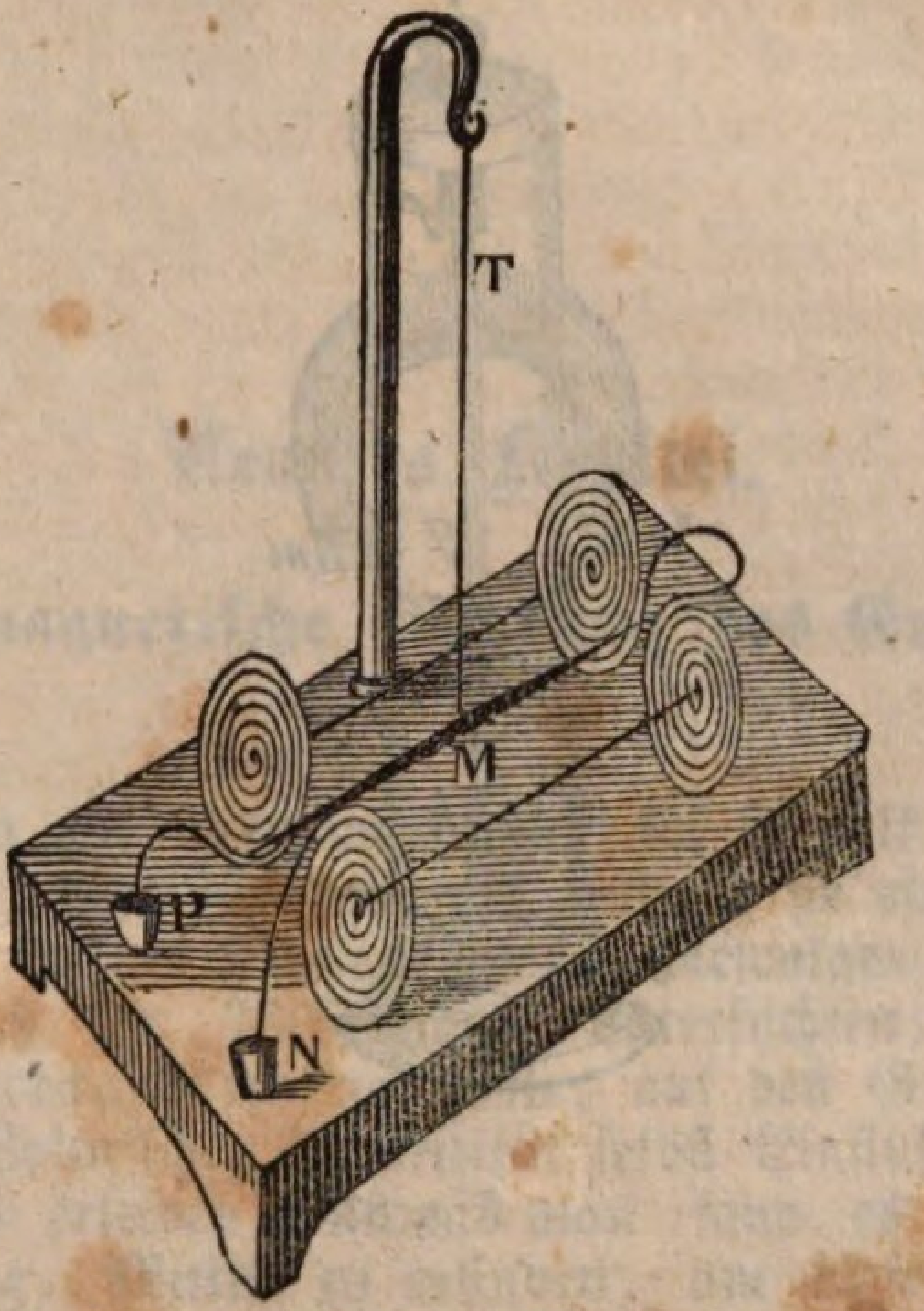


Fig. 82.

127. Die Leichtigkeit und ungemeine Biegsamkeit eines Goldplättchens hat auch die Elektriker in den Stand gesetzt, dies Material zur Verfertigung eines sehr empfindlichen Elektrometers zu gebrauchen (s. Elektrizität §. 73). Dieselben Eigenschaften lassen sich mit großem Vortheil auf ein Galvanoskop anwenden, indem die elektromagnetische Kraft nicht nach der Bewegung eines Magnetes, worauf sie einwirkt, sondern nach denen eines beweglichen Leiters angeschlagen wird, durch welchen man sie unter Einfluß eines sehr kräftigen Magnetes hindurchleitet. Die Verfertigung des Goldplättchen-Galvanoskopes ist der von Bennets Elektrometer ähnlich, mit Ausnahme daß das Plättchen einfach ist; eine Zange ist hinzugefügt, um das untere Ende des Goldplättchens zu halten, und die galvanische Kette zu vervollständigen. Der Streifen Goldplättchen g (Fig. 83) hängt locker von der Zange f, während das untere Ende durch eine andere Zange h gehalten wird; jede Zange endigt mit einer Schale, die eine P oben, die andere N unten, um die Verbindungen herzustellen, wodurch der Strom durch das Goldplättchen kommt. Das Ganze ist in ein cylindri-

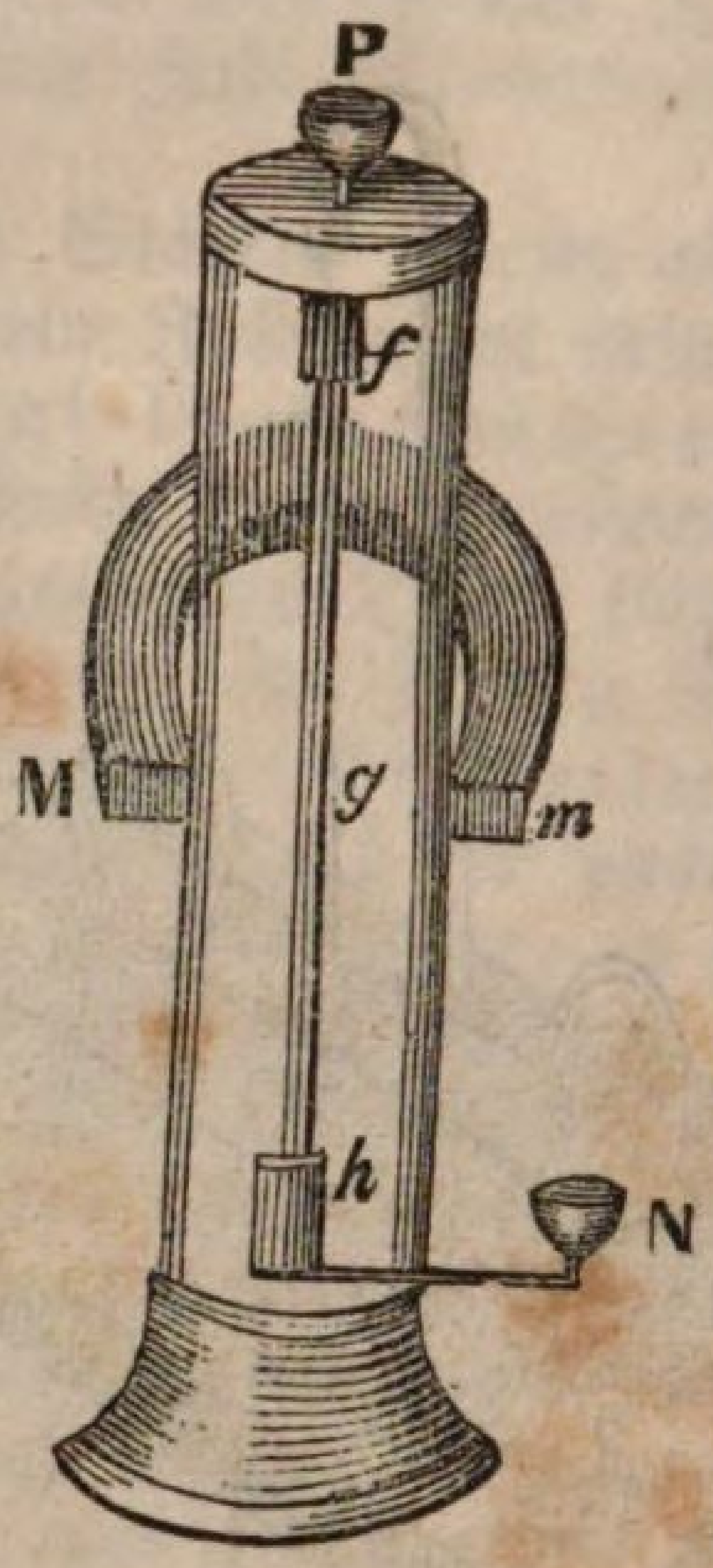


Fig. 83.

sches Glasgehäuse eingeschlossen, dessen Mitte sich zwischen den Polen eines starken Hufeisenmagnetes Mm befindet, so daß das Goldplättchen in beinahe gleicher Entfernung beider liegt. Wenn der Umlauf des Stromes durch das Goldplättchen vervollständigt ist, so wird das letztere nach der Seite von den Polen angezogen oder abgestoßen, je nachdem der Strom auf- oder absteigt; die breite Oberfläche des Plättchens wird convex nach dem einen Magnet zu in einem Fall, und concav im andern. Die Krümmung des Goldplättchens läßt sich durch ein Linsenglas in der Richtung von rechten Winkeln zur Linie seiner Bewegung betrachten und auf eine feine, an der Röhre in der Richtung ihrer Achse gezogenen Linie beziehen. Dies Instrument ist vielleicht die zarteste Probirungsweise für das Dasein und die Richtung eines schwachen galvanischen Stromes, welche überhaupt möglich ist.

Neuntes Kapitel.

Elektromagnetische Wirkung des Erdmagnetismus.

128. Da die Erde wirkt, als sei sie mit magnetischer Kraft begabt, oder vielmehr als enthalte sie einen gewaltigen Magnet in der Mitte, kamen Diejenigen, welche den neuen Bereich der Wissenschaft untersuchten, den ihnen Oersteds Entdeckung eröffnet hatte, auf den Gedanken, daß ein Strom Volta'scher Elektrizität selbst Einfluß durch Erdmagnetismus erleiden würde; man fand es jedoch zuerst sehr schwierig, Mittel zu erfinden, um diese Wirksamkeit erkennbar zu machen, da die Wirkung der Erde, mit der von künstlichen Magneten verglichen, wie wir dieselben anzuwenden pflegen, sehr gering ist. Ampère ist es zuletzt gelungen, einen entscheidenden Beweis sich zu verschaffen, daß der Leitungsdraht eine Richtsungskraft durch folgende Vorrichtung erhält. Zwei Drähte A B (Fig. 84), in rechten

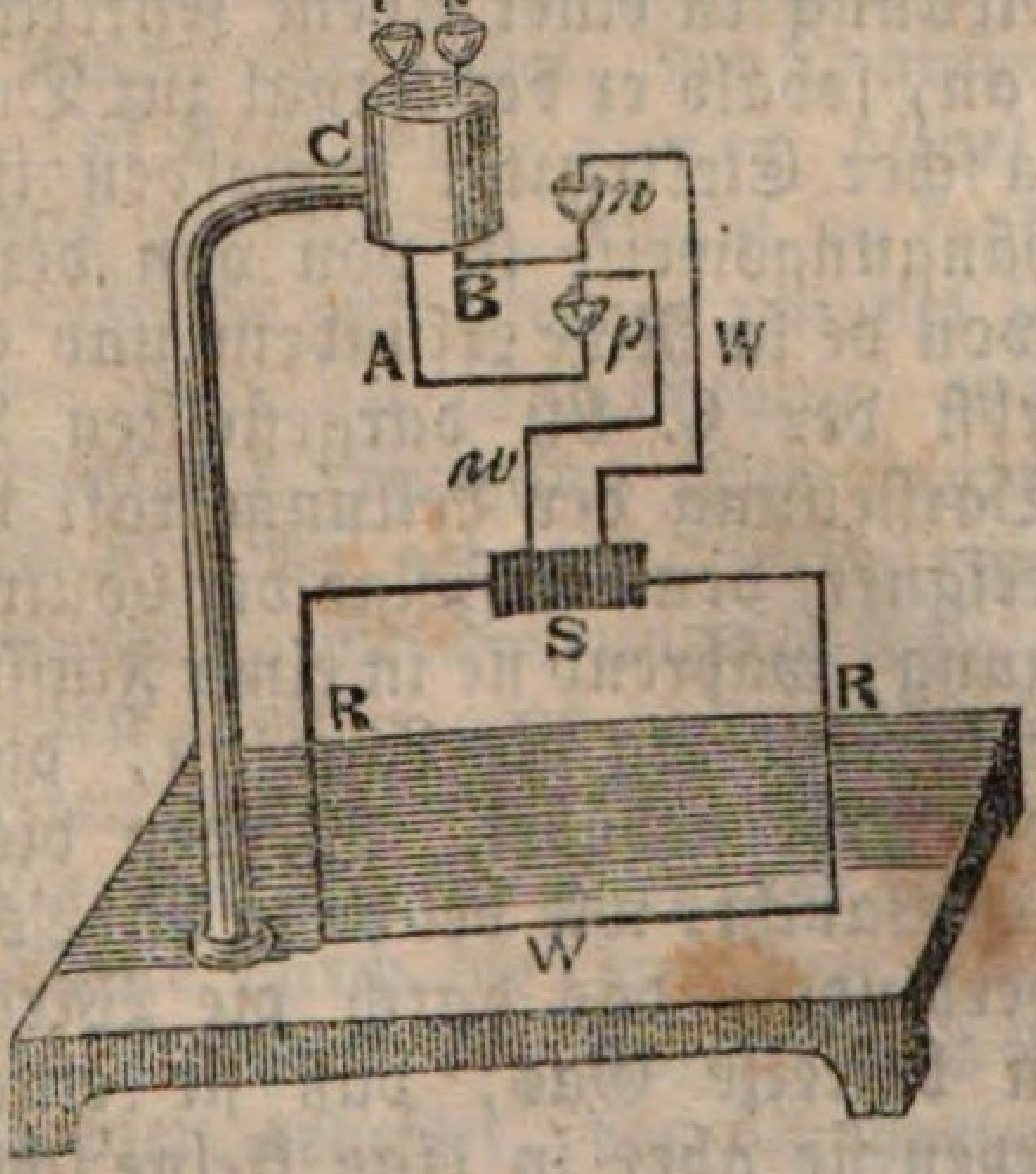


Fig. 84.

Winkeln gebogen, gehen durch ein cylindrisches Stück Holz C, das an das Ende eines Armes befestigt ist, der von der Grundlage des Instrumentes sich erhebt; sie gehen an beiden Enden mit kleinen Schalen aus, die zur Enthaltung von Quecksilber bestimmt sind, indem die Schalen P und N die Verbindungsdrähte mit den Polen einer Volta'schen Batterie aufnehmen, und indem die andern n p, die unmittelbar über einander sich befinden, die zwei Enden des Drahtes W W w aufnehmen, der durch ein kleines Stück Holz bei S geht, und sich unten in ein Quadrat oder Rechteck R R biegt; die obere Spitze des Drahtes ruht auf der Schale n, die untere Spitze taucht in das Quecksilber von p, ohne die Schale zu berühren, so daß der ganze Draht mit seinem Verbindungsstück S eine vollkommene Freiheit der Bewegung um eine scheitelrechte Achse hat, die durch den Stützungspunkt in der obersten der zwei Schalen n hindurchgeht. Ist eine Verbindung mit der Batterie vermittelst der Schale P und N hergestellt, so daß ein elektrischer Strom durch den Draht W W w geht, so wird letzterer wegen der äußersten Zartheit seiner Aufhängungsweise dem magnetischen Einfluß der Erde gehorchen und sich so stellen, daß die Ebene des Rechtecks R R senkrecht zur Fläche des magnetischen Meridians steht; er wird stets zu dieser Stellung zurückkehren, wenn er durch die Hand oder andere Ursache zur Seite gewandt wird.

129. Eine andere Anordnung, welche dieselbe Wirkung zeigt, ist die §. 100 schon beschriebene und Fig. 66 dargestellte, wo die elektromagnetische Kraft durch die Zahl der Gewinde gesteigert wird, welche den spiralförmigen Draht bilden; dieser spiralförmige Draht nimmt wie im letzten Fall, sogleich eine Stellung in einer Ebene senkrecht zum magnetischen Meridian an, sobald er der Kanal zur Durchlassung eines Stromes Volta'scher Elektrizität geworden ist. Die hier beschriebene Aufhängungsweise ist von van den Boß.

130. Die von de la Rive erfundene und §. 96 beschriebene Vorrichtung nebst der §. 99 dargestellten Verbesserung ist ebenfalls zur Darstellung der Leitungskraft des galvanischen Stroms sehr geeignet, denn in Folge der vollkommenen ihr gestatteten Bewegung, während sie in einer Flüssigkeit schwimmt, nimmt sie sehr bereitwillig die Lage an, die dem magnetischen Einfluß der Erde gebührt. Werden die Platten in gesäuertes Wasser getaucht, wie bei de la Rive's ursprünglichem Versuch, so verhindert das durch die Wirkung der Säure auf die Platten befreite Gas, daß sie eine feste Stellung annehmen; werden sie aber in eine kleine schwimmende Zelle gethan, so nimmt das Ganze die erwähnte Lage bereitwillig

an, und schwingt sich langsam darum. Dieselbe Erscheinung wird auch durch die §. 108 und 109 beschriebenen Anordnungen erlangt, welche auch den Vortheil haben, daß sie die starke Aehnlichkeit zeigen, welche diese Instrumente durch bloße Einwirkung elektrischer Strömungen, die aus Galvanismus hervorgehen, mit künstlichen Magneten darbieten. In Folge ihrer verlängerten cylindrischen Form werden die magnetischen Kräfte die Achsen entlang gerichtet, und der Cylinder mit dem Schraubengewinde stellt sich wie ein Magnet mit der Achse in dem magnetischen Meridian; wenn man dagegen einen einzigen Kreis oder eine Verbindung von Kreisen in einer einzigen Fläche nimmt, so wird diese Fläche sich stets so stellen, daß sie im rechten Winkel zur Fläche des Meridians steht, d. h. sie wird in einer Fläche, die nach Osten und Westen geht, liegen, wobei nur die Vorderseite der Fläche nach Norden und Süden liegt.

131. In allen beschriebenen Fällen erzeugt die Vervielfältigung der Spiral- oder Kreiswindungen nicht den Vortheil, den man erwarten könnte, weil das Gewicht, wie schon bei dem Galvanometer von Lebaillif erwähnt wurde, obgleich die Kraft gesteigert wird, beinahe in demselben Verhältniß vermehrt ist. Die sich ergebende Bewegung ist deßhalb beinahe dieselbe.

132. Der nächste Vergleichungspunkt zwischen der Wirkung der Erde auf den Leitungsdraht und auf die Magnetnadel bezieht sich auf die Neigung. Da die Richtung der Kraft des Erdmagnetismus in einer Linie sich befindet, die im magnetischen Meridian gelegen und etwa 70 Gr. zum Horizont geneigt ist, so geht die Wirkung dieser Kraft auf einen Volta'schen Draht, der in einer Ebene so gebogen ist, daß er einen Kreis, ein Quadrat, Parallelogramm oder jede andere Figur beschreibt, welche dort endet, wo sie anfing, und welche eine sogenannte geschlossene Kette bildet, dahin aus, ihn in eine Stellung zu bringen, worin er senkrecht zu dieser Richtung, d. h. senkrecht zur Neigungsnadel ist.

133. Folgende war die Vorrichtung, wodurch Ampère die beschriebene Wirkung erzeugte. Ein Draht in der Form eines Rechtecks RR Fig. 85 gebogen, wird von einer hölzernen Röhre TT gehalten, welcher unmittelbar quer durch die Mitte seiner längsten Seiten geht und als Achse dient. Die zwei kürzeren Seiten oder Enden des Rechtecks werden von einem leichten hölzernen Balken B in der Form einer Raute gehalten, deren Mitte durch die erwähnte Röhre durchbohrt ist. Ein Ende des Drahtes W, welcher das Rechteck bildet, ist in einen Stahlzapfen geheftet, der sich horizontal auf einer

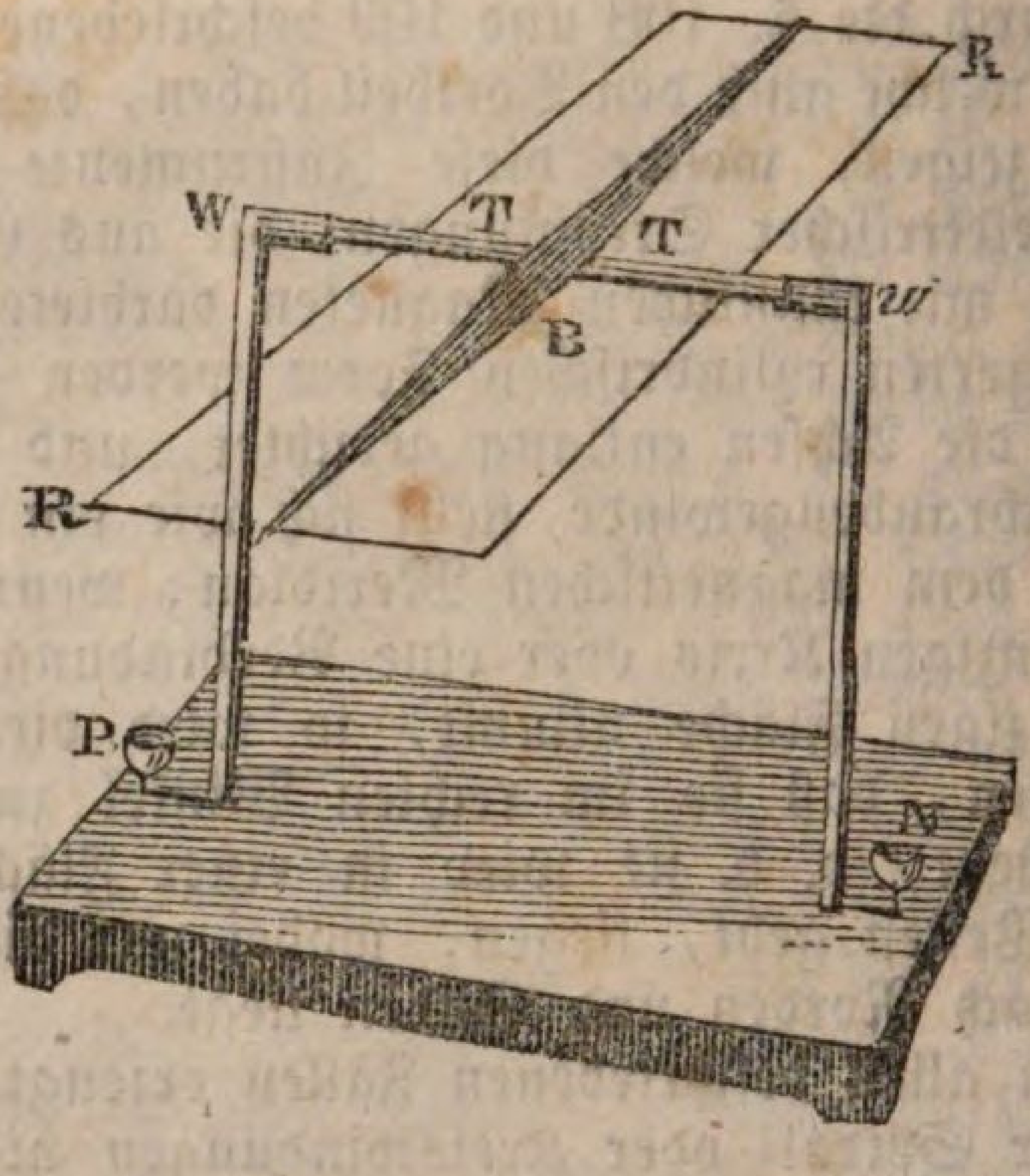


Fig. 85.

kleinen Metallplatte, die auf der Spitze einer aufrechten Metallsäule befestigt ist, umdreht; die Säule erhebt sich von der Seite der Grundlage der Vorrichtung. Ein wenig Quecksilber wird auf die Platte gelegt, um die Brührung vollkommen zu machen. Der Draht, nachdem er eine Kette des Rechtecks vervollständigt hat, und auf derselben Stahlspitze W, wo er anfing, zurückgekehrt ist, wird so gebogen, daß er durch die Röhre geht und am andern Ende w wieder herauskommt, wo er mit einer andern Stahlspitze endigt, welche er sich in gleicher Weise auf einer Metallplatte umdreht, die auf dem Gipfel einer Säule an der andern Seite der Vorrichtung befestigt ist. Die unteren Enden beider Säulen werden, wo sie an dem Gestell befestigt sind, mit Drähten fortgesetzt, welche die Schalen mit Quecksilber PN in der gewöhnlichen Weise halten. Stellt man die Verbindung zwischen der Volta'schen Batterie und den Schalen her, so steigt der elektrische Strom in der Säule, die dem positiven Pol der Batterie am nächsten ist, auf, läuft durch den rechtwinklichten Draht, geht am andern Ende heraus, steigt an der andern Seite abwärts und erreicht seinen Ausgang durch die Schale an der Seite. Da das Rechteck sich um die Achse, welche durch die beiden Spitzen entsteht, vermittelst welcher sie auf den Platten ruht, frei bewegen kann, und da diese Achse horizontal ist, so ist es auf eine scheitel-

rechte Bewegung beschränkt. Wird die Achse der Bewegung so gestellt, daß sie in rechten Winkeln zum magnetischen Meridian steht, und wird der bewegliche Theil der Vorrichtung genau im Gleichgewicht gehalten, so daß er jede Stellung behält, worin er sich bringen läßt, so wird das Rechteck bei Richtung der elektrischen Ströme durch die Drähte nach einigen Schwingungen sich fest in die Ebene des magnetischen Aequators stellen, d. h. in eine Ebene die senkrecht zur Neigungslinie steht, kurzum, genau in die Stellung, welche die Theorie ihr anweisen würde. Kehrt man die Richtung des Stromes um, so wird die magnetische Polarität sogleich umgekehrt und wendet sich vollkommen, so daß sie sich in dieselbe Ebene wie früher, allein mit den Vorderseiten in entgegengesetzter Richtung gegen die früher angenommene, kehrt.

134. Bei Annahme einer ähnlichen Aufhängungsweise wird ein Volta'scher Magnet, der durch das Schraubengewinde des Drahtes, das §. 105 beschrieben wurde, gebildet ist, dieselben Erscheinungen, wie die Neigungsnadel, und so vollständig, wie eine magnetisirte Nadel zeigen.

135. So ist die Aehnlichkeit der Wirkung des Erdmagnetismus auf Leitungsdrähte einer elektrischen Strömung und Magnetnadel vollkommen erwiesen worden. Wir haben zunächst zu untersuchen, ob ein gerader Draht Einfluß durch die Erde in derselben Weise erleidet, wie es bei dem entsprechenden Pole eines nahen Magnetes der Fall sein würde. Um diesen Vergleich anzustellen, müssen wir zuerst die Folgerungen aus der früher dargelegten Theorie herleiten, welche Wirkungen sich vom Erdmagnetismus auf einen geraden Leitungsdraht, oder, was dasselbe ist, von einem magnetischen Südpol erwarten lassen, der auf unbestimmte Entfernung in der Richtung der Neigungslinie wirkt. Da die elektromagnetische Kraft eine tangentiale ist, so äußert sie sich im rechten Winkel zu dieser Richtung, welche die der Linie ist, die den Draht mit dem Magnetpol oder dem Ursprung der Kraft verbindet. Ihre Wirkung auf einen Strom, mag derselbe auf- oder absteigen, welcher sich genau an dieser Linie oder in der Neigungslinie bewegt, ist gleich Null; sie muß mit größter Stärke auf einen Strom einwirken, der sich in senkrechter Richtung zur Neigungslinie bewegt. Damit nun ein gerader Draht senkrecht zu dieser Linie ist, muß er in der Ebene des magnetischen Aequators liegen. Dies also ist die Richtung, worin er den vollen Einfluß des Erdmagnetismus erhält, und dieser Einfluß äußert sich, indem er ihn in paralleler Richtung zu sich selbst antreibt, und zu gleicher Zeit in senkrechter Richtung zur Linie der Neigung;

d. h. er strebt dahin, in derselben Fläche wie der magnetische Aequator sich fortzusetzen. Die Richtung dieser Bewegung zu dieser Seite oder zur andern muß deßhalb vom Laufe der elektrischen Strömung, die hindurchgeht, abhängen. Ist der Draht z. B. horizontal gestellt und hat er die magnetische Richtung des Ostens und Westens, geht ferner der Strom positiver Elektrizität von Westen nach Osten hindurch, so ist die Neigung zur Bewegung im Drahte in Folge des Erdeinflusses, der wie ein Südpol wirkt, nach Norden, d. h. in der Ebene des magnetischen Aequators aufsteigend, welche Ebene, wie man sich erinnern wird, abwärts sich nach Süden mit einer Neigung zum Horizont von ungefähr 20 Grad richtet, die dem Complement der Neigung gleich ist.

Dieses ist leichter zuverstehen, bezieht man sich auf Figur 86, worin N E S W eine Horizontalfläche darstellt, D d,

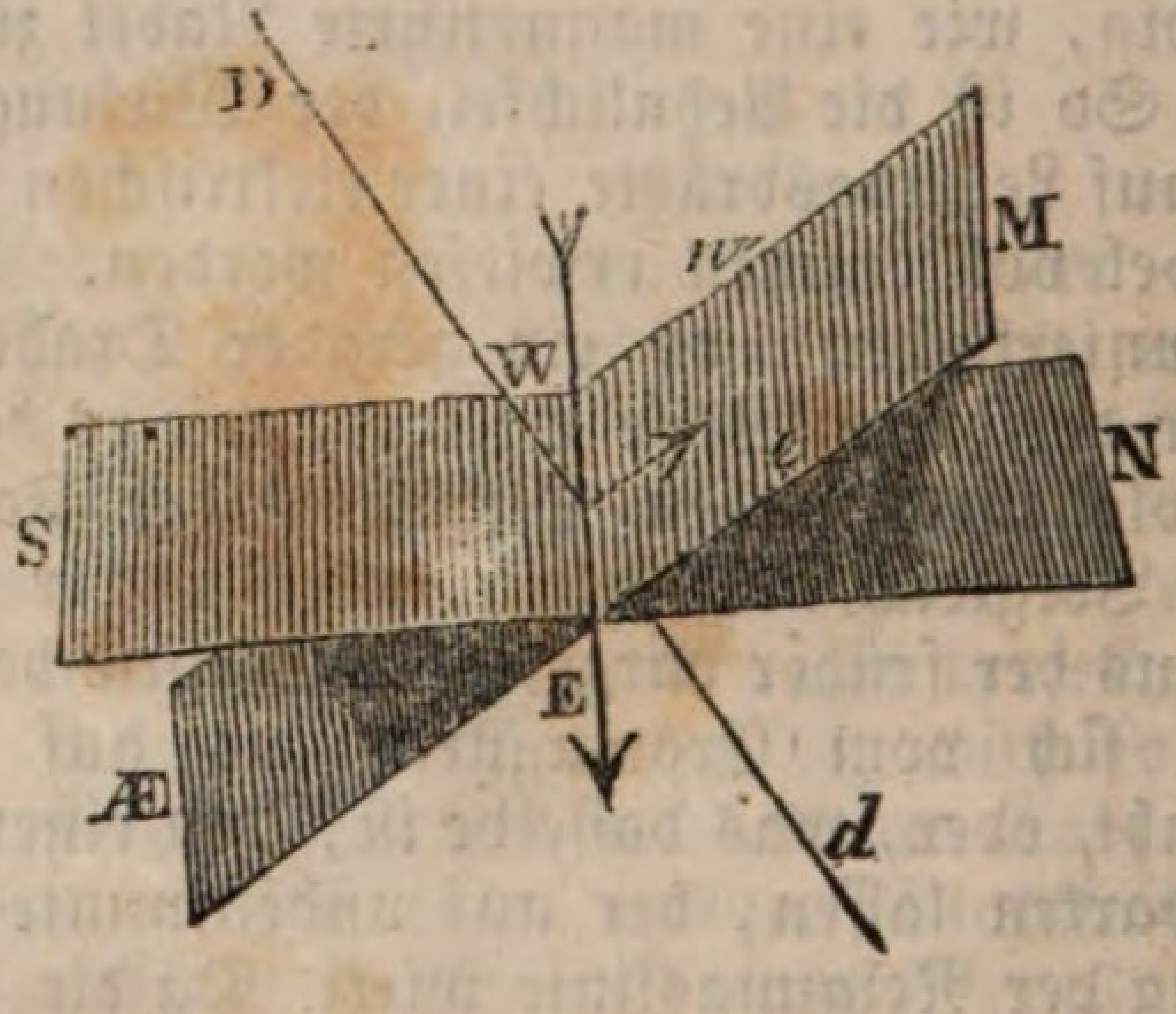


Fig. 86.

welches eine Neigung zu dieser Ebene von 70 Grad hat, ist die Neigungslinie, zu welcher M Æ, das die Fläche des magnetischen Aequators darstellt, senkrecht ist. W E ist ein gerader Theil eines Leitungsdrahtes, an welchem ein elektrischer Strom in der Richtung von W nach E fließt. Unter diesen Umständen geht die Wirkung der elektromagnetischen Kraft, welche die Erde übt, dahin, dem Draht eine Neigung zu ertheilen, daß er sich parallel mit sich selbst in der Fläche M Æ und nach M bewegt, wie dies der Pfeil zeigt, so daß er, könnte er frei diesem Antrieb gehorchen, zunächst die Lage [illegible] würde, welche die punktirte Linie w e bezeichnet.

Wäre der elektrische Strom von W nach E geleitet, so würde die Richtung der Bewegung geändert werden, und der Draht würde sich nach unten in derselben Ebene bewegt haben, wobei er jedoch seine parallele Richtung beibehielte.

136. Dehnte sich der Draht in der magnetischen Fläche von Norden nach Süden aus, z. B. die Linie MÆ (Fig. 87)

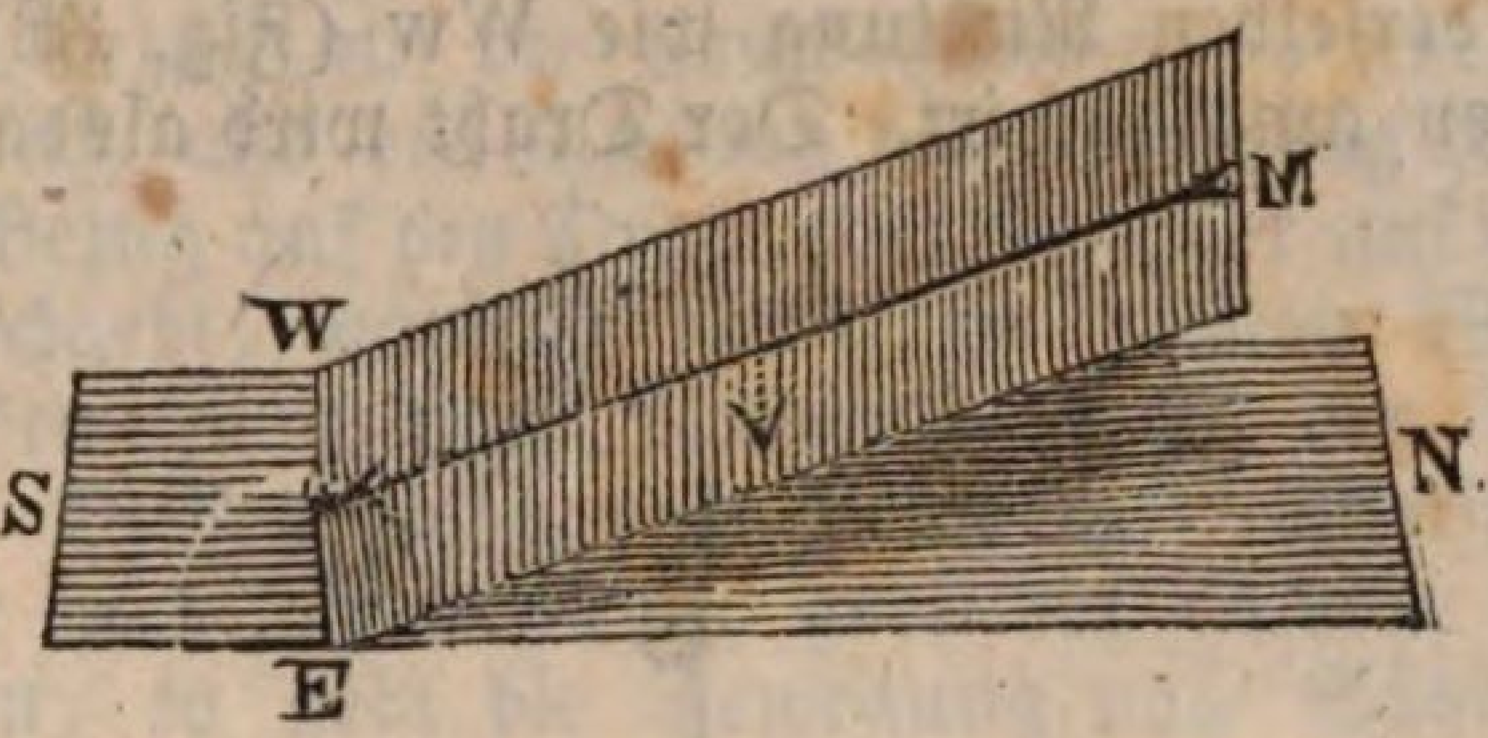


Fig. 87.

entlang, wobei NS wie früher die Horizontalfläche wäre; und ginge der elektrische Strom in der Richtung MÆ, d. h. von Norden nach Süden, so würde der Draht sich nach Osten zu bewegen suchen, wie der Pfeil zeigt, indem er sich in derselben Ebene hielte, und mit sich parallel bliebe. Wenn im Gegentheil der Strom sich von Süden nach Norden bewegt, so wird der Draht von Osten nach Westen angetrieben.

Es ist kaum zu bemerken, daß alle diese Angaben sich auf dasjenige beziehen, was in der nördlichen Halbkugel sich ereignet, worin die Neigung ungefähr 70° wie in England beträgt. In der südlichen Halbkugel, wo die nördliche Polarität der Erde thätig ist, sind die Wirkungen natürlich umgekehrt. Am magnetischen Aequator, wo die Bewegung gleich Null ist, steht die Ebene MÆ senkrecht zum Horizont und die Neigung zu einer Bewegung bei einem Horizontaldraht muß direkt nach oben oder direkt nach unten gehen; die Wirkung des Erdmagnetismus muß auch bloß diejenige sein, daß sie sich der Schwerkraft entgegensetzt oder mit ihr zusammenwirkt, d. h. daß sie entweder eine Vermehrung oder eine Verminderung in dem scheinbaren Gewicht des Drahtes erzeugt. In den hohen Breiten ist die Neigung des magnetischen Aequators zum Horizont zu klein, um eine sehr merkbare Wirkung dieser Art zu erzeugen; sie ist jedoch in sehr feinen Versuchen erkennbar geworden.

137. In Folge dessen, daß die Fläche des magnetischen Aequators nicht sehr weit von einer Horizontalfläche entfernt ist, kann man horizontal gestellte Drähte, die sich frei in einer Horizontalebene bewegen, dahin bringen, daß sie die Wirkungen des Erdmagnetismus und ohne viel Schwierigkeit zeigen. Faraday erlangte diese Wirkung in folgender Weise. Ein Stück Kupferdraht von ungefähr 0,045″ Dicke und 14″ Länge erhält an jedem Ende 1″ Biegung im rech-Winkel in derselben Richtung wie Ww (Fig. 88) zeigt; die Ende werden amalgamirt. Der Draht wird alsdann horizon-

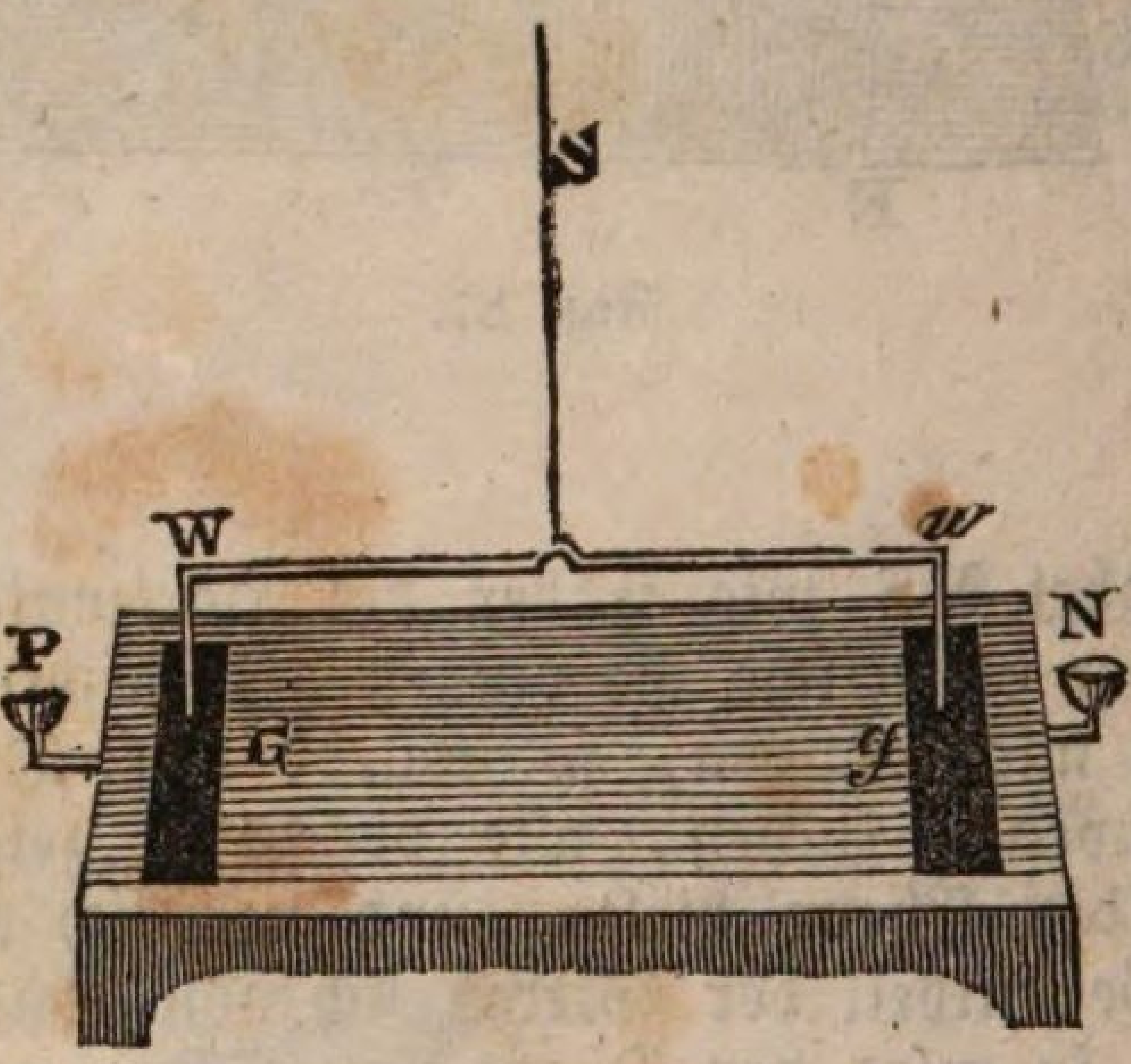


Fig. 88.

tal an einem langen Seidenfaden S an der Decke aufgehängt; 2 Rinnen Gg werden in die Seiten des rechtwinklichten Stückes harten Holzes geschnitten, parallel mit den Seiten ungefähr in einem halben Zoll Tiefe und mit Quecksilber gefüllt. P und N sind Drähte, die in das Brett geheftet, ein jeder in seiner Rinne gehen, so daß sie mit dem Quecksilber in Berührung kommen; an den Enden haben sie Schalen zur Herstellung der Verbindung mit der Volta'schen Batterie. Die Spitzen der Drähte sind jetzt leicht in das Quecksilber zu tauchen, das sich in den Rinnen befindet; um dem Uebelstand vorzubeugen, daß ein von Oxyd gebildetes Häutchen, welches gern auf der Oberfläche des Quecksilbers entsteht, die Bewegung der Drahte hindert, ist es anzurathen, daß man die Oberfläche mit einer Schicht verdünnter Salpetersäure bedeckt, welche durch Auflösung des Oxydes dies der

freien Bewegung gebotene Hinderniß entfernt. Sobald die Verbindungen mit der Batterie hergestellt sind, und der elektrische Strom den Draht entlang geht, wird man ihn sich seitlich bewegen sehen, indem er über das Feld geführt wird, bis die Spitzen gegen die Enden der Rinnen stoßen, Bei Abbrechung der Verbindung nimmt der Draht die frühere Lage wieder an, bei Wiederherstellung derselben geschieht wieder die Bewegung. Aendert man die Stellung der Vorrichtung in Bezug auf die Compaßstriche, so findet sich dieselbe Wirkung, und die Richtung der Bewegung bleibt immer dieselbe in Bezug auf den Draht oder vielmehr auf den Strom, der hindurchgeht, nämlich damit im rechten Winkel. So geht die Bewegung nach Norden, wenn der Draht nach Osten und Westen steht und wenn der elektrische Strom von Westen nach Osten fließt; geht der Strom von Osten nach Westen, so geht die Bewegung nach Süden. Hängt der Draht von Norden nach Süden und bewegt sich der Strom von Norden nach Süden, so richtet sich der Draht nach Osten und wird der Strom umgekehrt, nach Westen. In den Zwischenlagen haben die Bewegungen des Drahtes zwischenliegende Richtungen.

138. Die Bewegungen, welche die verschiedenen Stellungen des Drahtes und den Richtungen des Stromes entsprechen, sind in den Linien der Figur 89 gezeigt, worin N und S den Nord und Süd ausdrücken; die Pfeilspitzen am Ende der Linie zeigen die Richtung des Stromes in dem Drahte, und die kurzen Pfeile, die nach der Seite von der Mitte gehen, die Richtung der in den Draht eingeführten Bewegung.

139. Es ist klar, daß der Draht in allen diesen Fällen sich nach demselben Gesetze bewegt, welches die Umdrehung eines Drahtes um einen magnetischen Pol in Faraday's erstem Versuch über magnetische Drehungen erzeugt (§. 59). Eine unmittelbare und nothwendige Folgerung aus diesem Gesetze geht dahin, daß der Draht, im Fall die beiden Mulden mit Quecksilber noch so sehr verlängert worden wären, und sogar im Fall sie um die Erdkugel in einem Kreise um den wirkenden magnetischen Pol der Erde geführt wären, fortfahren würde, sich dieselben entlang zu bewegen, und daß er von dem Punkte, wo er ausgegangen, zurückkehrend, seinen Lauf wieder aufnehmen und fortwährende Umdrehung ausführen würde. In dem sehr beschränkten Raum, der sich mit dem wirklichen Versuch verträgt, scheint der Draht sich in einer Fläche zu bewegen; die Theorie aber zeigt, daß dies in Wirklichkeit ein kleiner Theil eines Cy=

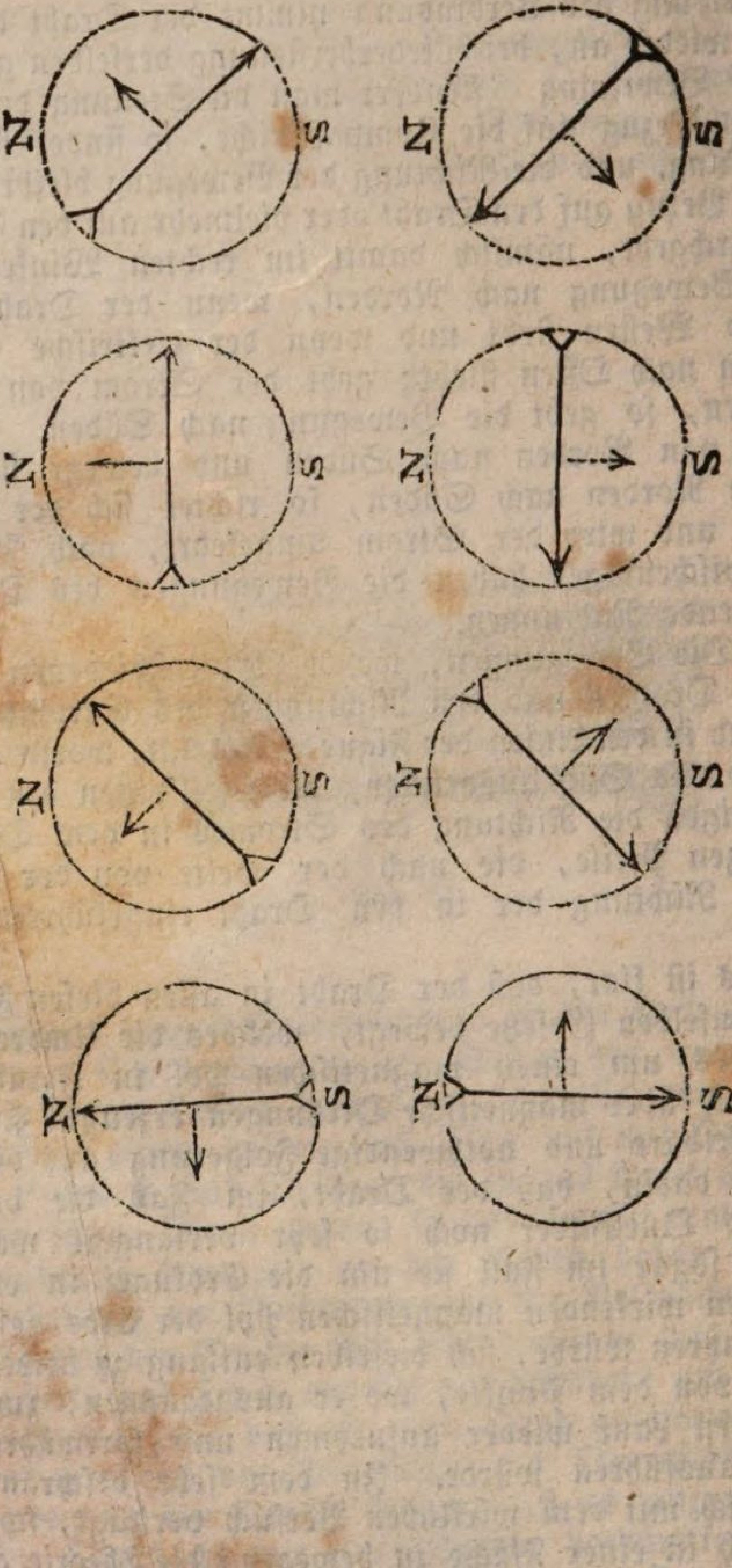


Fig. 89.

linders ist, dessen Radius die Entfernung des magnetischen Poles der Erde von dem Drahte bildet. Es gewährt Interesse, vergleicht man die beginnende Umdrehung des Drahtes mit den vollkommenen Umdrehungen, die in Versuchen mit künstlichen Magneten bewirkt werden, und betrachtet man dies als einen Theil eines ähnlichen Versuches in weit größerem Maßstabe, um den Draht zu betrachten, als beginne er gleichsam seine Umschiffungsreise der Erde, obgleich sein Fortgang im nächsten Augenblick aufgehalten wird.

140. Es ist eine Folgerung aus demselben Gesetz, daß die Kraft, wodurch der horizontale Leitungsdraht getrieben wird, dieselbe in allen Azimuthen ist.

141. Eine wirkliche Drehung, die im ganzen Laufe sichtbar ist, läßt sich jedoch als die Wirkung des Erdmagnetismus zeigen. Dies ist von Faraday ausgeführt worden. In Betracht, daß der Pol in dem Versuche der Umdrehung um den Pol eines Magnetes nur zu einem kleinen Theil des Drahtes senkrecht und mehr oder weniger schräg zu den übrigen steht, hielt er es für wahrscheinlich, daß ein Draht, welcher sehr zart aufgehängt und verbunden war, um die Linie der Neigung durch den Erdmagnetismus allein gedreht werden könne, indem der obere Theil auf einem Punkt in der Linie der Neigung festgehalten, und der untere so gestellt war, daß er sich in einem Kreis, der ihn umgab, umdrehte. In dieser Absicht wurde ein Stück Kupferdraht von ungefähr 0,18″ Durchmesser und 6″ Länge überall gut amalgamirt, mit einem Haken an ein anderes Stück desselben Drahtes (W, Fig. 99) gehängt, so daß ihm freie Bewegung gestattet war; sein unteres Ende w war durch ein kleines Korkstück gestoßen, um es schwimmend zu halten, wenn es auf dem Quecksilber lag. Ein Glasbecken von 10″ Durchmesser ward mit reinem Quecksilber gefüllt und etwas verdünnte Säure auf die Oberfläche gegossen. Der dicke Draht, welcher mit einem der Pole der Volta'schen Batterie in Verbindung stand, wurde alsdann über den Mittelpunkt des Glasbeckens gehängt, und so niedergedrückt, daß der dünne bewegliche Draht, dessen unteres Ende auf der Oberfläche des Quecksilbers ruhte, einen Winkel von 40 Grad mit dem Horizont bildete. Als die Kette für den Umlauf des Stromes durch das Quecksilber vervollständigt war, begann sich sogleich der Draht zu bewegen und umzudrehen, und setzte die Bewegung fort, während die Verbindungen bewahrt wurden, um einen Kegel zu beschreiben, welcher, obgleich seine Achse senkrecht war, offenbar wegen der wechselnden Geschwindigkeit seiner Bewegung Beziehung auf die Linie WD hatte,

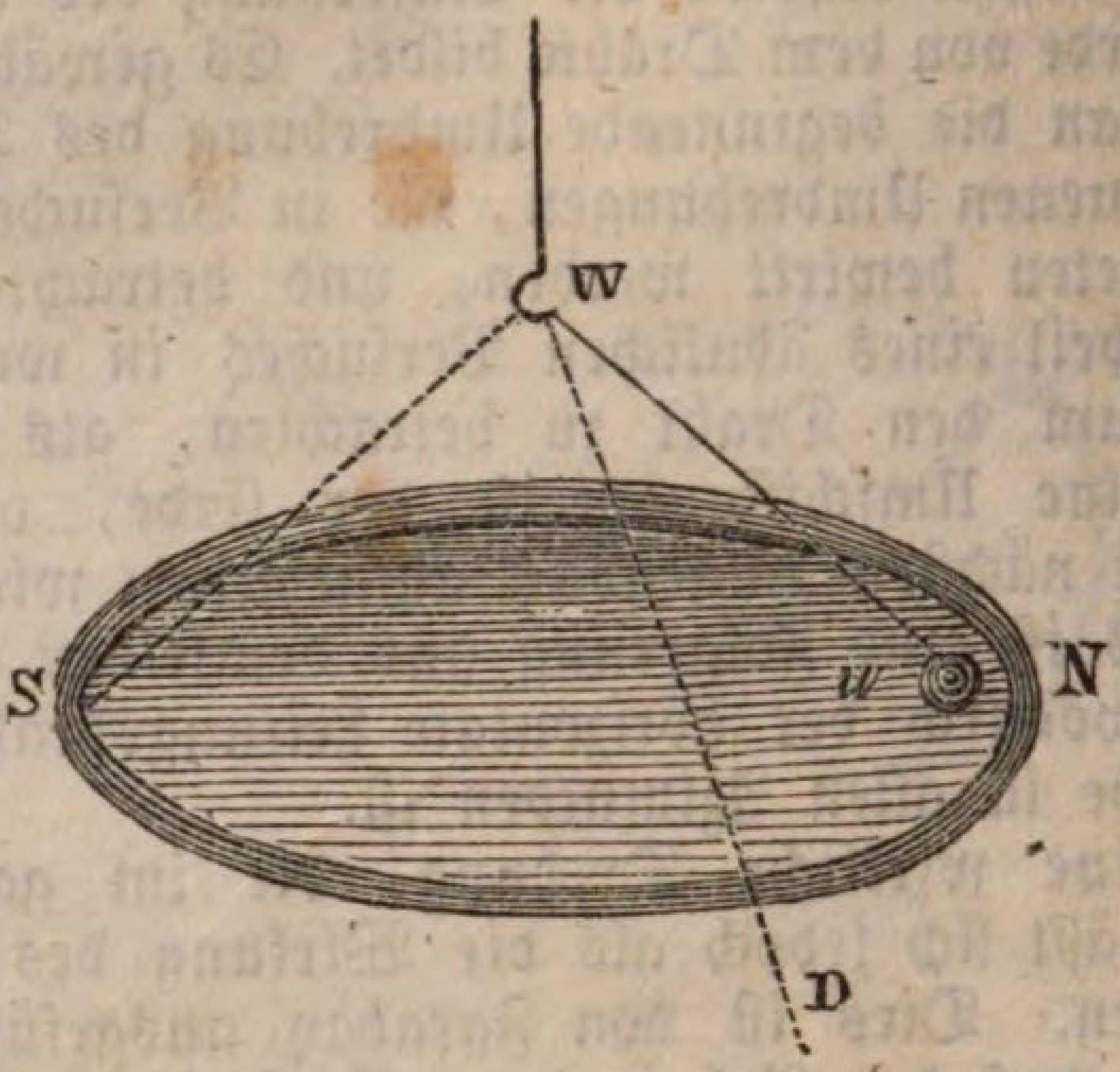


Fig. 90.

welche mit der Neigungsnadel parallel stand, indem diese die Linie der Kraft war, die auf ihn einwirkte. Die Richtung der Bewegung war somit dieselbe, wie die im Versuch §. 64 beschriebene, worin ein Südpol unter die Vorrichtung gestellt wird. Wurde der Mittelpunkt, von welchem der Draht hing, erhoben, bis die Neigung des Drahtes der Neigung der Magnetnadel gleich war, so fand sich keine Bewegung, wenn der Draht mit der Neigung der Nadel parallel stand; war der Draht weniger geneigt, wie die Neigung der Nadel, so war die Bewegung in dem einen Theil des Kreises, der durch das untere Ende beschrieben werden konnte, umgekehrt — Resultate, die nothwendig aus dem Verhältniß zwischen der Neigung der Magnetnadel und dem bewegenden Drahte folgen.

142. Beschränkt man die Bewegung eines Endes des Horizontaldrahtes im Versuch §. 137 (Fig. 88), so daß man dies Ende zur festen Achse macht, und nimmt man eine runde Mulde mit Quecksilber, worin das andere Ende sich bewegt, so wird dieselbe Kraft, welche eine parallele fortschreitende Bewegung im ersteren Fall verursachte, jetzt eine drehende Bewegung erzeugen, weil die Kraft, welche eine horizontale Bewegung erzeugt, in allen Lagen des Drahtes dieselbe bleibt. Diese Gleichheit wird bewiesen, indem man den Versuch mit zwei verbundenen Horizontaldrähten statt eines anstellt; man stellt sie dabei einen über den anderen,

indem jeder seine besondere Mulde mit Quecksilber enthält, in welche das bewegliche Ende eintauchen kann. Diese Anordnung ist Fig. 91 dargestellt, wo der Strom, der durch die Schale P eintritt, das Quecksilber in der obern Mulde durchzieht, durch den Draht A aufsteigt, durch den obern Horizontaldraht zum Centraldraht C gelangt, der in der

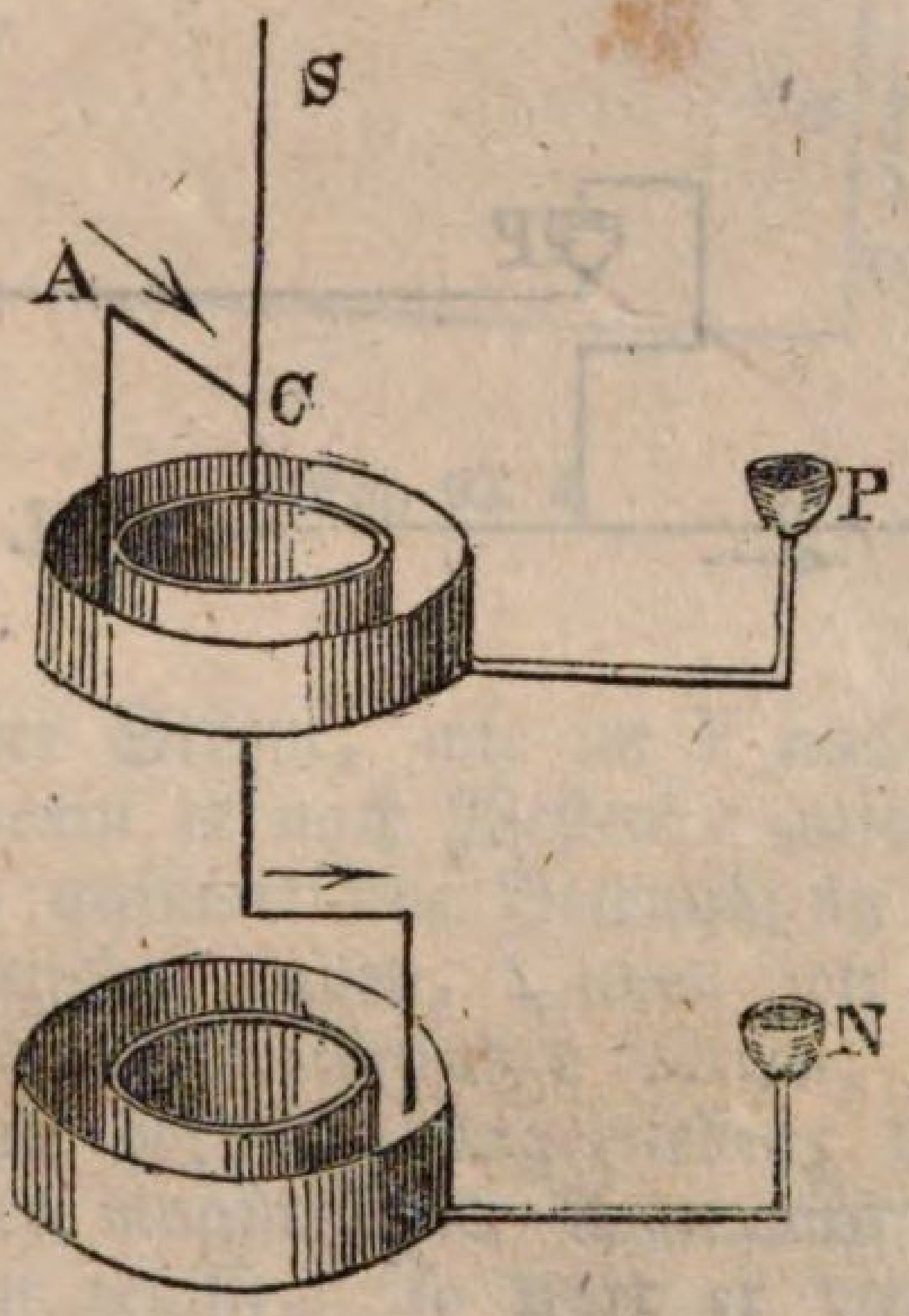


Fig. 91.

Aufhängungsachse sich befindet (der Draht hängt an dem dünnen Faden S), diesen Draht hinabsteigt, und äußerlich durch den unteren Horizontaldraht kömmt, von wo er durch das Quecksilber in der unteren Mulde zu der Schale N gelangt; von dort entweicht er zur Volta'schen Batterie; alsdann zeigen die aufgehängten Drähte keine Neigung zur Drehung. Daraus ist zu schließen, daß die Neigung zur Umdrehung, welche die Erde dem Strome mittheilt, welcher sich vom Umfang zum Mittelpunkt in dem oberen Horizontaldraht bewegt, in genauem Gleichgewicht durch eine entgegengesetzte Umdrehungskraft in dem untern Draht gehalten wird, worin der Strom vom Mittelpunkt zum Umfang geht. Da diese Gleichheit in jedem Azimuth bewahrt wird, so folgt, daß die Umdrehungskraft in jeder Stellung des Drahtes bleibend ist.

143. Ein scheitelrechter Strom in einem um eine scheitelrechte Achse beweglichen Leiter erleidet ebenfalls Eindruck von dem Einfluß der Erde mit einer horizontalen Kraft, die ihn gegen den magnetischen Osten treibt, wenn der Strom absteigt, und gegen den Westen, wenn er aufsteigt. Dies wird deutlich sein, hängt man einen gebogenen Draht auf, wie Fig. 92 A zeigt, der sich oben und unten mit den Spitzen P und N endigt, damit dieselben in zwei Schalen gestellt,

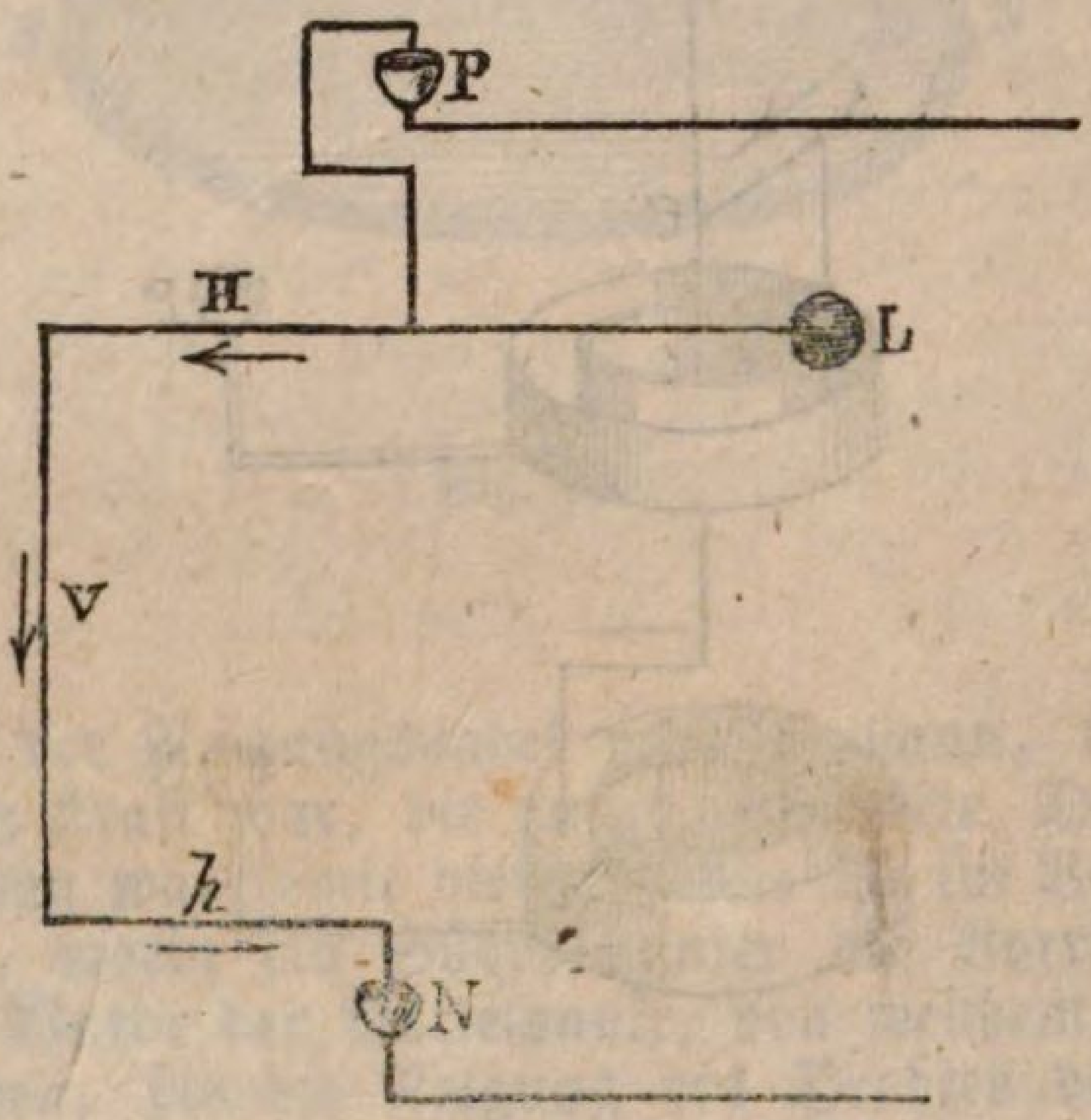


Fig. 92. A

durch das Gegengewicht L im Gleichgewicht gehalten werden. Geht der Strom durch diesen Draht hindurch, so wird die Richtung seines Laufes an den Horizontalzweigen Hh, die sich einander entgegengesetzt sind, im Gleichgewicht gehalten; jedoch der Draht in dem scheitelrechten Durchschnitt V wird eine Stellung entweder nach Osten oder Westen der Achse, je nachdem der Strom durch denselben ab- oder aufsteigt, annehmen.

144. Wenn der Draht, anstatt die soeben gezeigte Form zu haben, die Gestalt eines vollkommenen Quadrates oder Parallelogrammes hat, wie Fig. 92 B zeigt, so wird der zweite scheitelrechte Zweig mit dem ersten zusammenwirken, damit der Draht dieselbe Stellung, nämlich diejenige an-

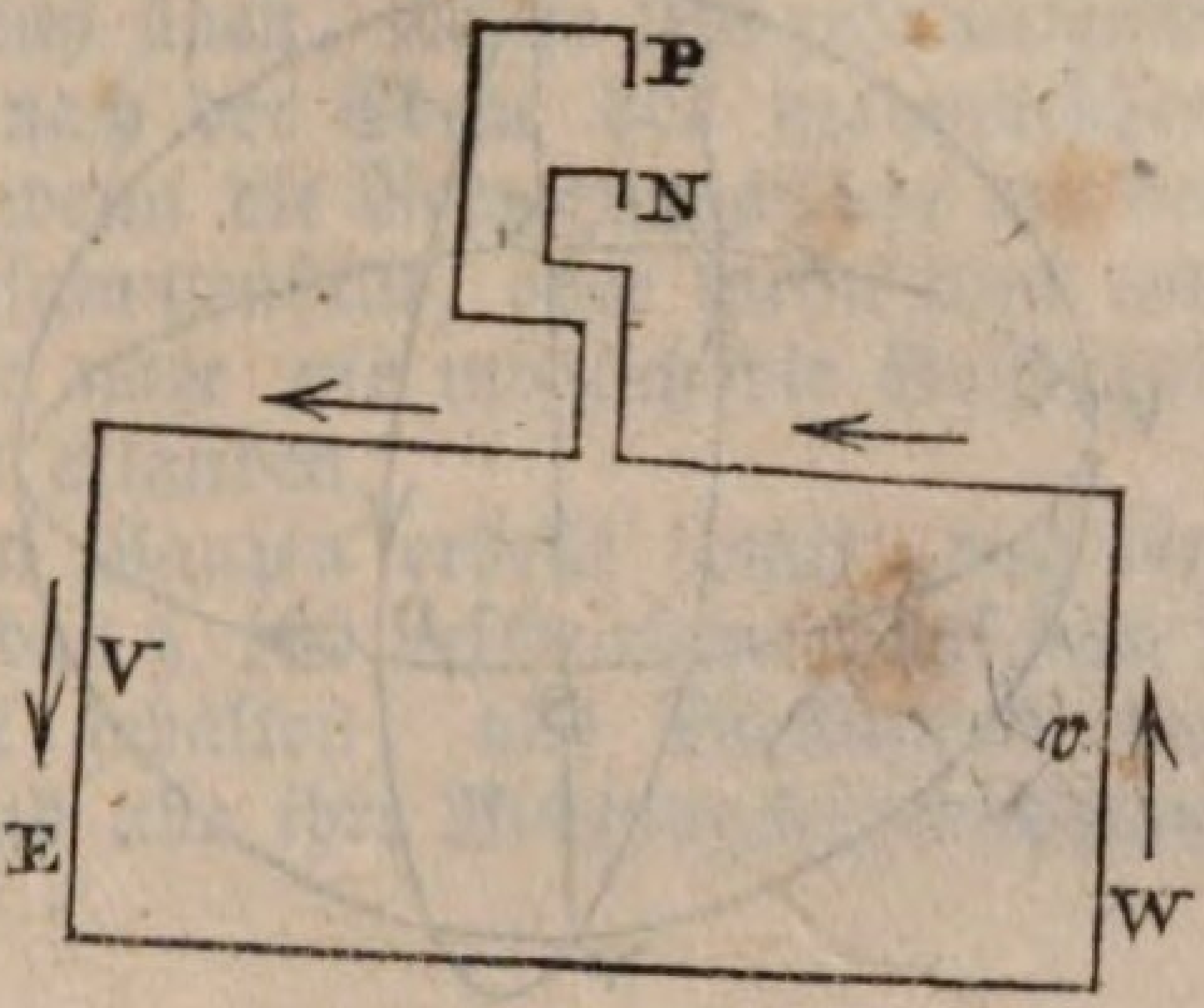


Fig. 92. B

nimmt, worin der Strom, wie im V nach Osten absteigt, und diejenige, worin er nach Westen v aufsteigt.

145. Durch aufmerksame Betrachtung der Thatsachen, die wir jetzt angegeben haben, können wir begreifen, weshalb ein scheitelrechter kreisrunder Strom, von der elek- magnetischen Kraft der Erde angetrieben, dahin strebt, in die Ebenen des magnetischen Aequators zu stellen. Ist ihm Freiheit dazu gelassen, so wird er diese Stellung annehmen; ist aber seine Bewegung auf eine andere Richtung beschränkt, so wird er sich so nahe wie möglich in diese Ebene stellen. Wenn er z. B. durch eine scheitelrechte Achse gezwungen wird, sich allein horizontal zu drehen, so wird er sich in eine Ebene senkrecht zu der des magnetischen Meridians stellen, d. h. er wird sich nach Osten und Westen oder vorn nach Norden und Süden stellen. In seinen Bewegungen, um diese Stellung zu erreichen, wird er durch die Neigung der Ströme fortgetrieben, soweit ihre Bewegung scheitelrecht ist, mag dieselbe auf- oder absteigen, denn die Neigungen der Horizontaltheile halten genau einander im Gleichgewicht und erzeugen keine drehende Wirkung. Wenn z. B. der Strom in dem Kreis AD Fig. 93, welcher sich um die scheitelrechte Achse XY dreht, in dem Zweige D absteigt und in dem Zweige A aufsteigt, so wird erstere in der Richtung DE in letztere in der Richtung AW durch Kräfte angetrieben, welche allein aufhören, wenn sie die Stellungen E und W erreicht haben. Die horizontalen Theile bei X und Y neutralisiren einander in Bezug auf ihre Drehungsneigung; somit wird der Kreis sich umdrehen, bis er die Lage an-

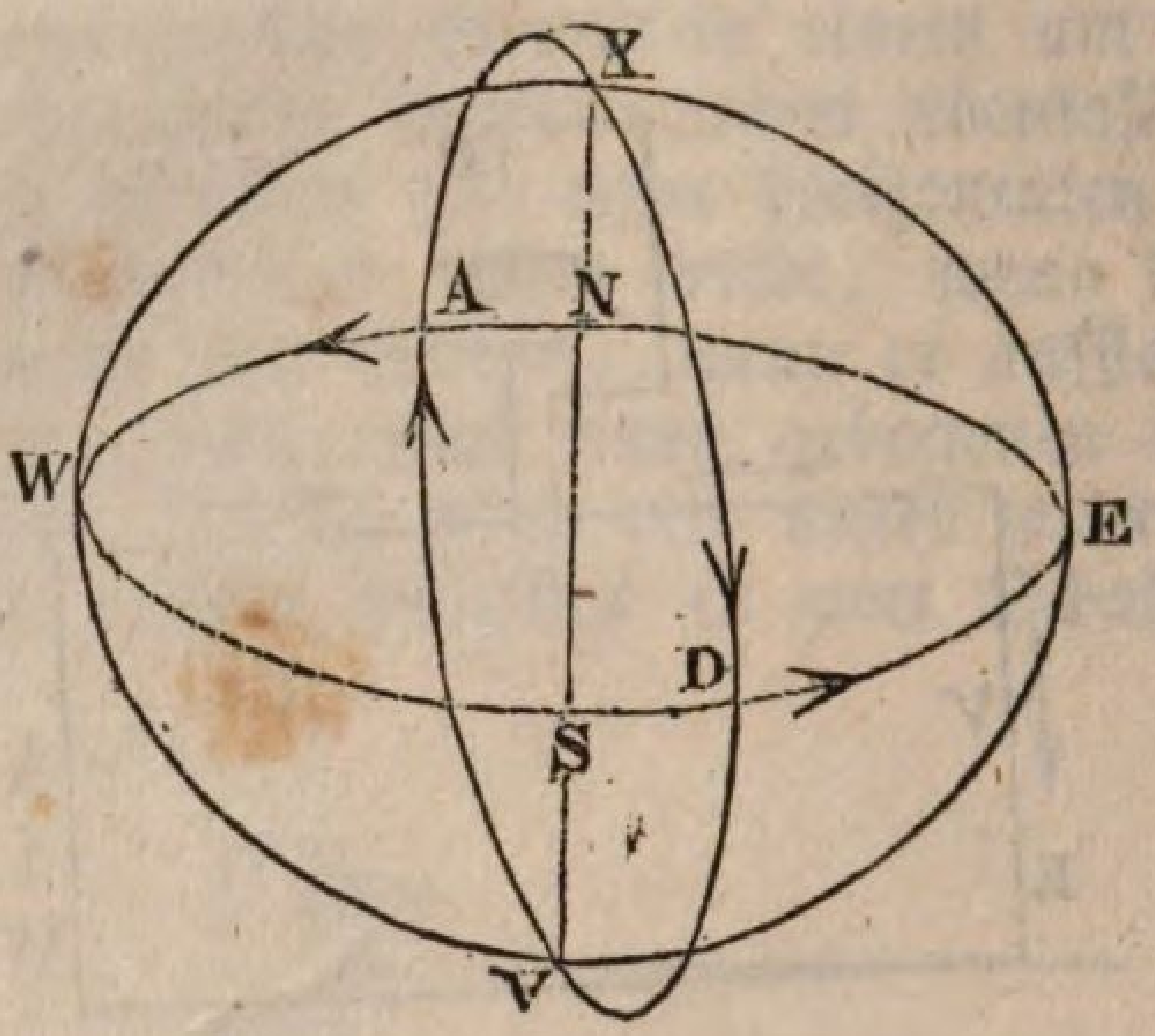


Fig. 93.

nimmt, die der Kreis bei E und W zeigt, wo die Kräfte im Gleichgewicht sind. Die Natur dieses Gleichgewichts wird sich aus Fig. 94 ergeben, worin der Kreis wie von oben gesehen dargestellt ist; die Pfeile zeigen die horizontale Richtung der Kräfte, welche durch die scheitelrechte Achse durchgehen und sich im Gleichgewicht halten, wenn der Kreis in der Linie WE steht. Dieselben Buchstaben bezeichnen die sich entsprechenden Punkte in den zwei Figuren.

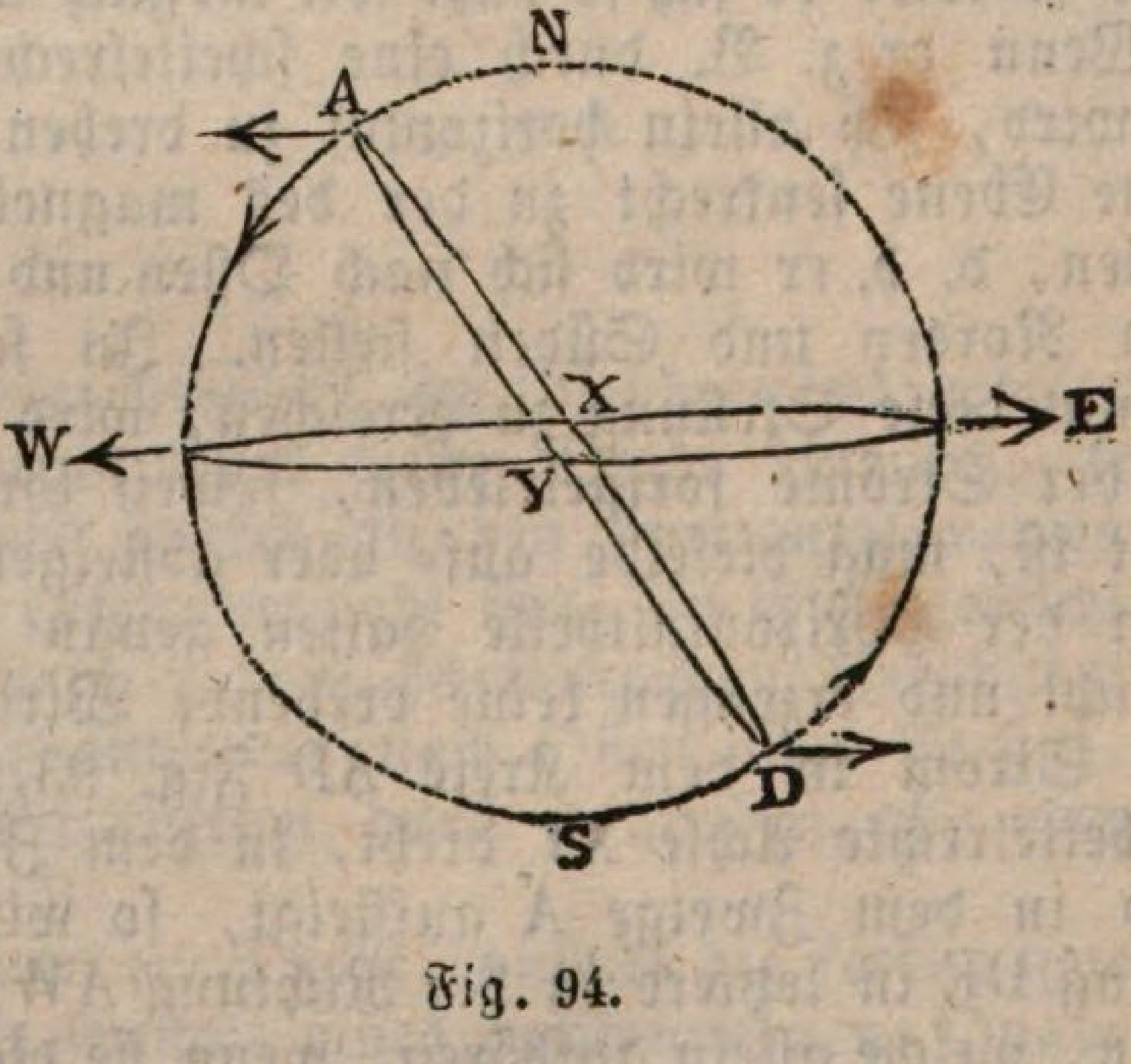


Fig. 94.

146. Wenn die Umdrehungsachse andererseits horizontal und die Bewegung scheitelrecht ist, so wird die Stellung durch

die Kräfte bedingt, die auf die horizontalen Theile des Kreises Einfluß üben, welche jetzt zusammenwirken, um eine Umdrehung nach der Ebene des magnetischen Aequators zu bestimmen, wenn die Bewegungsfläche mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, oder wenn dies nicht der Fall ist, wenigstens so nahe wie möglich die Beschränkungen der Bewegung dies erlauben.

147. Im Ganzen erhellt somit, daß ein Schraubengewinde, wie das §. 105 beschriebene, auf dem Mittelpunkt im Gleichgewicht gehalten, alle Stellungen der Magnetnadel annehmen und alle ihre Richtungseigenschaften äußern wird.

Zehntes Kapitel.

Elektomagnetische Induktion.

148. Bis so weit haben wir die elektromagnetischen Erscheinungen betrachtet, die sich aus der entgegengesetzten Wirkung galvanischer Ströme auf magnetisirte Körper ergeben. Wir haben jetzt diejenige Klasse von Wirkungen zu untersuchen, welche aus der Einwirkung der ersteren auf Eisen oder andere eisenhaltige Körper entstehen, die vorher nicht magnetisch geworden sind. Versuche haben bewiesen, daß ein Leitungsdraht, während der elektrische Strom durch ihn hindurchgeht, dahin strebt, Magnetismus in solche Körper einzuführen, die sich in der Nähe befinden und worin dieser Zustand erregt werden kann. Die Induktion ist somit eine der Erscheinungen des Elektromagnetismus und muß unter die Eigenschaften der Elektrizität in Bewegung eingereiht werden.

149. Sir H. Davy und Arago entdeckten beinahe zur selben Zeit, daß der Verbindungsdraht einer galvanischen Batterie eine sehr merkbare Anziehung auf Eisenspäne äußert und daß er sie wie ein künstlicher Magnet halten wird, so lange der elektrische Strom durch den Draht geht; im Augenblick aber, wo die galvanische Kette unterbrochen wird, hört auch die Wirkung auf und die Späne fallen ab. In Sir H. Davy's Versuchen hingen die Späne an dem Draht, welcher die Pole einer Volta'schen Vorrichtung verknüpfte, die aus 100 Paar Platten von 4″ in so beträchtlicher Menge bestand, daß sie eine Masse von 10—12mal der Dicke des Drahtes bildeten. Die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes auf Eisen in seiner Nähe, die sich in die Quere richtet, ist durch folgende Versuche schön erläutert, welche Watkins ersonnen hat. Ein Kupferdraht von beträchtlicher Dicke wird zwischen die Pole einer Volta'schen Batterie ausgedehnt. Siebt man darüber einige sehr feine Eisenspäne, so hängen sie sich sämmtlich um den Umfang in der Form bestimmter

Querbänder, deren Theilchen gegenseitig zusammenhängen, so lange wie der Strom erhalten wird. Wenn ein breites und dünnes Kupferband an die Stelle des Drahtes als der Leiter Volta'scher Elektrizität gesetzt wird, und wenn Eisenspäne darüber sorgfältig gesiebt werden, so ordnen sie sich in parallelen Linien in rechten Winkeln zur Länge des Bandes, und ihre magnetischen Eigenschaften zeigen sich ferner durch die schnellen Veränderungen der Länge und die allgemeine Störung, welche durch Annäherung eines Magnetes erzeugt wird, den man unter die Leitungsplatte bringt.

150. Man konnte als natürlich aus diesen Versuchen an weichem Eisen erwarten, daß Stahl unter denselben Verhältnissen einen bleibenden Magnetismus erlangen würde. Sir H. Davy, nachdem er mehre Stahlnadeln in verschiedenen Richtungen durch einen feinen Silberdraht an einen Draht desselben Metalls von ungefähr $1/_{30}$″ Dicke und 11″ Länge geheftet hatte, indem einige parallel, andere quer unten und oben in verschiedenen Richtungen waren, brachte dieselben in die elekrische Kette einer Batterie von 30 Paar Platten von 9″ Länge und 5″ Breite und erprobte ihren Magnetismus durch Eisenspäne. Sie waren sämmtlich magnetisch; die dem Drahte parallel waren, zogen Späne in derselben Weise wie der Draht selbst an; die querliegenden zeigten jeder zwei Pole. Alle Nadeln, die unter dem Drahte gestellt waren, richteten ihre Nordpole auf die Südseite des Drahtes und ihre Südpole auf die Nordseite, wenn das positive Ende der Batterie nach Osten stand, während diejenigen, die über dem Draht sich befanden, ihre Südpole nach Süden und ihre Nordpole nach Norden richteten, und dies war stets der Fall, welches auch die Neigung der Nadel zum Horizont sein mochte. Als man die Verbindung abbrach, behielten alle Stahlnadeln, die in der Querrichtung auf dem Drahte waren, ihren Magnetismus bei, welcher so kräftig wie jemals war, während die dem Silberdrahte parallelen ihren Magnetismus zur selben Zeit wie der Draht selbst zu verlieren schienen.

151. Alle quer unter einen Mittheilungsdraht gestellten Nadeln, wobei das positive Ende rechts lag, richteten die Nordpole demjenigen, der die Versuche machte, zu; die über dem Draht angebrachten richteten ebenso ihre Südpole. Berührung mit den Drähten war nicht nothwendig für die Magnetisirung der Nadel, denn diese Wirkung wird sogleich durch die bloße Nebenstellung der Nadel in einer Querrichtung erzeugt, und zwar sogar durch sehr dicke Glasplatten. Eine Nadel, die nur einen Augenblick in dieser Querrichtung zum Draht gestellt worden war, wurde zum eben so starken

Magnet wie eine solche, die lange mit ihm in Verbindung gewesen war.

152. Die Stärke des eingeführten Magnetismus stand im Verhältniß zum Betrag der in gegebener Zeit durch den Draht gesandten Elektrizität. Deßhalb erzeugt ein durch eine gewöhnliche Maschine elektrisirter Draht keine sichtbare Wirkung; ein schwacher Magnetismus wird nur durch die Aufnahme großer Funken erlangt; wenn man aber die Ladung einer Leydener Batterie durch den Draht gehen läßt, so werden die quer zum Draht gestellten Nadeln bleibend magnetisch. Die Entladung einer elektrischen Batterie von 17 Quadratfuß, die stark geladen ist, durch einen Silberdraht von $1/_{20}''$ Dicke machte Stahlstangen von 2″ Länge und $1/_{20}$—1″ Dicke so magnetisch, daß sie kleine Stücke Stahldraht oder Nadeln anzogen und die Wirkung wurde auf eine Entfernung von 5″ oben oder unten seitwärts vom Drahte durch Wasser oder dicke Platten von elektrisch isolirtem Glas oder Metall mitgetheilt.

153. Die Wirksamkeit der elektromagnetischen Induktion wird, wie man erwarten konnte, durch Anwendung eines Schraubengewindes sehr gesteigert, wobei man die zu magnetisirende Nadel oder Stange in die Achse des Schraubengewindes in der Lage stellt, welche Figur 67 darstellt. Arago wandte zuerst diese Methode an und vermochte die höchste Wirkung der Nadel beinahe auf der Stelle zu erzeugen. Es ist jedoch nicht nothwendig, daß die zu magnetisirende Stange genau in der Achse des Gewindes liegt; sie kann sich in jeder Lage innerhalb desselben befinden, oder in eine Glasröhre oder anderes Material eingeschlossen werden, welches kein guter Elektrizitätsleiter ist. Eine solche Röhre wird sich auch zur Stütze für die Drahtwindungen wie für Zulassung verschiedener Nadeln hintereinander eignen. Der Nadel sollte man nicht gestatten, länger als einen Augenblick in der Röhre zu bleiben, denn die magnetisirenden Wirkungen des Schraubengewindes werden beinahe augenblicklich erzeugt, und es ereignet sich bisweilen, daß, wenn man die Nadel einige Minuten dort läßt, die zuerst erworbene Polarität vermindert, oder verwirrt, oder sogar zerstört wird.

154. Stellt man einen langen Stahldraht in die Achse eines Schraubengewindes, dessen Windungen auf verschiedenen Punkten ihre Richtung ändern, so wird der Draht eine Anzahl aufeinander folgender Pole haben, die den Punkten entsprechen, wo diese Wechsel stattfanden.

155. Watkins beobachtete, daß die zu magnetisirende Nadel, wenn sie nicht sehr hart ist, nicht der ganzen Länge

nach in die Glasröhre gebracht zu werden braucht; hält man sie nämlich so in der Hand, daß nur eine Hälfte in das Schraubengewind kömmt, so wird sie ebenso magnetisch wie eine andere, auf deren ganze Länge eingewirkt wurde; der Theil der Nadel, welcher den Magnetismus erhielt, theilt denselben den übrigen mit. Wenn ein kleiner Theil einer Nadel aus sehr hoch temperirtem Stahl in die Glasröhre gebracht wird, so dehnt sich der eingeführte Magnetismus über zweimal die Länge des eingeführten Theils aus.

156. Ein sehr kräftiger Magnet von nicht lange dauerndem Magnetismus läßt sich dadurch erhalten, daß man einen dicken Cylinder weichen Eisens in die Form eines Hufeisens biegt, und ihn mit dem Gewinde eines dicken Kupferdrahtes umringt, welches vor der Verbindung zwischen den einzelnen Theilen durch eine Bedeckung von Seide oder von anderem nichtleitenden Material gesichert ist. Wenn der Draht zu einem Theile der galvanischen Kette einer Batterie sogar von geringer Stärke gemacht worden ist, wird das Eisen stark magnetisch werden und sogar ein sehr schweres Gewicht vermittelst eines Eisenstücks an den Polen aufheben, welche ebenso wie ein Hufeisenmagnet wirken. Figur 95 zeigt eine Anordnung dieser Art. Ww stellt die zwei Enden des Drahtes dar, der sich um das zu magnetisirende Eisen windet und so gebogen ist, daß er in die Schalen PN eintaucht, um Verbindungen mit der Batterie zu bilden.

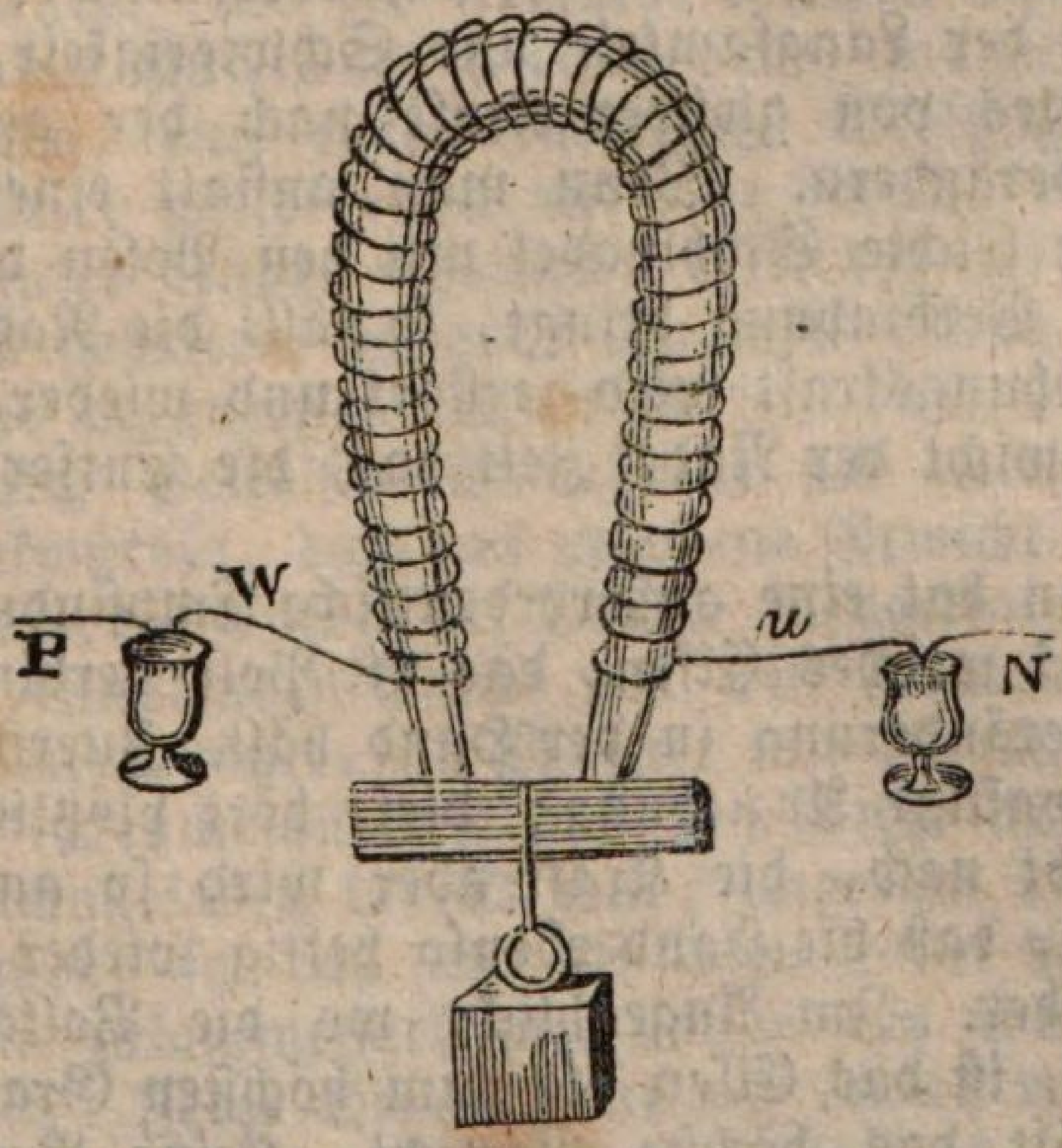


Fig. 95.

157. Dieser Versuch ist in großem Maßstabe von Moll mit einer von Watkins verfertigten Vorrichtung gemacht worden. Sie bestand aus einem Cylinder weichen englischen Eisens, der in Form eines Hufeisenmagnetes gebogen war, wobei der Zwischenraum zwischen den Enden $8\frac{1}{2}''$ betrug. Der das Schraubengewinde bildende Kupferdraht hatte $\frac{1}{8}''$ Durchmesser und machte 83 Windungen; das Gewicht des Ganzen betrug 5 Pfund. Ein verbindendes Stück Eisen wurde mit den zwei Enden des Hufeisens in Berührung gesetzt und die Enden des Spiraldrahtes wurden in Quecksilber getaucht, so daß sie eine Volta'sche Kette mit einer einzigen Batterie bildeten; letztere bestand aus einer Zinkplatte, welche eine Oberfläche von 11 Quadratfuß einer sehr verdünnten Mischung von Schwefel und Salpetersäure in einer Kupferzelle darbot. Beim ersten Versuch hielt die Vorrichtung durch den eingeführten Magnetismus 50 Pfund und nachher bei größerer Sorgfalt des Versuches 76 Pfund.

158. Wenn das an die eiserne Querstange gehängte Gewicht klein ist, so findet man, daß das Eisen seinen Magnetismus einige Zeit nach der Abbrechung der Volta'schen Verbindung beibehält. Wenn man, statt die Verbindung abzubrechen, die elektrischen Pole so verändert, daß man die Richtung des Stromes umkehrt, findet die Umkehrung des Magnetismus in ungemeiner Geschwindigkeit statt. Allerdings fällt das Gewicht ab, wird aber sogleich wieder angezogen und mit derselben Kraft wie früher getragen. Die Schnelligkeit dieser Veränderung ist um so außerordentlicher, vergleicht man sie mit der Langsamkeit und Schwierigkeit, die Pole eines Magnetes von gleicher Kraft nach der gewöhnlichen Methode zu verändern. Wenn man anstatt eines schweren Gewichts eine leichte Stahlnadel mit den Polen des Elektro-Magnetes in Verbindung bringt, so fällt die Nadel niemals ab; die Anziehungskraft wird zerstört und wieder hergestellt, bevor das Gewicht der Nadel Zeit hat, die Entfernung auszuführen.

159. Man hat eine außerordentliche Empfindung, wenn man ein Stück weiches Eisen, das die Pole verbindet, während dieser Veränderung in der Hand hält. Zuerst empfindet man eine gewaltige Anziehung; diese hört plötzlich auf und das Eisen gibt nach, die Kraft aber wird so augenblicklich wieder erneut, daß die Hand ebenso heftig wieder angezogen wird wie früher. Im Augenblick, wo die Volta'sche Kette vollständig ist, ist das Eisen bis zum höchsten Grade magnetisirt und hält das höchste Gewicht. Keine Vergrößerung

magnetischer Kraft wird erlangt, wenn die Stärke der Volta-schen Batterie vermehrt wird.

160. Mit einem großen Hufeisenmagnete von weichem Eisen, der 26 Pfund wog und dessen Durchmesser 2½″ betrug, indem die Sehne des Bogens 12½″ lang war — ferner mit einem Spiraldraht von Messing von ⅛″ Durchmesser mit 44 Windungen und mit derselben Batterie wie in dem frühern Versuch — hielt der Magnet 139 Pfund. Beim Gebrauch eines Eisendrahtes statt des Messingdrahtes steigerte sich das Gewicht auf 144 Pfund.

161. Wie groß diese Wirkungen auch scheinen mögen, so werden sie durch Vermehrung der Zahl Windungen, ohne Ausdehnung der Länge des Drahtes, sehr gesteigert. Henry, Professor an der Albany Academy in den Vereinigten Staaten (New-York) und Ten-Eyck brauchten zur Verfertigung eines Magnetes eine Stange weiches Eisen von 2″ Dicke und 20′ Länge mit gerundeten Rändern und in der Biegung eines Hufeisens; 540′ Draht aus Glockenmetall wurde in 9 Windungen von 60′ jede herumgewunden. Diese Windungen waren nicht von einem Ende des Magnetes zum andern fortgesetzt, sondern jede war um einen Theil des Hufeisens von ungefähr 1″ Länge gewunden, so daß die Enden der Drähte vorragten und gehörig numerirt wurden. Die abwechselnden Enden wurden an einen Kupfercylinder genietet, die andern an einen Zinkcylinder von nur ⅖ Quadratfuß und in einer Volta'schen Kette mit verdünnter Säure. Als die Armatur weichen Eisens quer über die Enden des Hufeisens gelegt wurde, konnte dasselbe 650 Pfund tragen, eine erstaunenswerthe Wirkung für eine so kleine Batterie, welche etwa nur eine Ladung von ½ Schoppen verdünnter Säure erheischte. Bei der größeren Batterie bestand das gehaltene Gewicht aus 750 Pfund, welches der höchste Grad magnetischer Kraft zu sein schien, der in dieser Stange durch Volta'sche Elektrizität sich entwickeln konnte. Es ist merkwürdig, daß das erhobene Gewicht nur 145 Pfd. betrug, wenn die Enden der Drähte so vereinigt waren, daß sie einen fortlaufenden Draht von 540′ bildeten. In einem späteren Versuch wurde ein Magnet mit 26 gedrehten Strängen aus Glockenmetalldraht von 31′ Länge umwunden, der mit Baumwollefaden bedeckt war; ungefähr 18″ der Enden ragten hervor, so daß nur 28′ von jedem das Eisen umgaben; die zusammengehäufte Länge des Gewindes betrug deßhalb 728′. Jeder Strang war auf etwas weniger wie 1″ umgewunden; in der Mitte des Hufeisens bildete er drei Dicken des Drahtes, und am Ende war er so umgewunden,

daß er sechs Dicken bildete. Mit einer Batterie von beinahe 5 Quadratfuß hielt dieser Magnet 2063 Pfund oder beinahe eine Tonne Gewicht. Dies scheint der gewaltigste einzelne Magnet, welcher jemals verfertigt worden ist, zu sein, und zwar sowohl bei Anwendung der gewöhnlichen Weise, Stahlstangen zu magnetisiren, als auch bei der des Volta'schen Stroms.

162. Man hat auch Versuche gemacht, einen kleinen, kurz dauernden Magnet zu verfertigen, welcher das größte Gewicht, verglichen mit seinem eigenen, tragen könnte. Ein kleines Hufeisen runden Eisens, leicht abgeflacht, von 1″ Länge und $^6/_{10}$″ Durchmesser, mit 3′ Messingdraht umwunden, erhob vermittelst einer cylindrischen Batterie eine Last von 420mal seinem eigenem Gewicht. Newton beschreibt einen Magnet von 3 Gran Gewicht, den er in einem Ringe trug und welcher 746 Gran oder 250mal sein eigen Gewicht heben konnte, und dies ist die größte verhältnißmäßige Kraft, die je von einem Magnet berichtet worden ist. Somit ist es klar, daß ein weit größerer Grad Magnetismus sich in weichem Eisen durch einen galvanischen Strom, wie in Stahl desselben Umfangs durch das gewöhnliche Magnetisirungsverfahren entwickeln läßt.

Watkins sagt, man müsse, um Magnete von irgend einer Kraft durch die genannte Methode zu erhalten, mit großer Sorgfalt darauf sehen, daß man sich reines Eisen zur Bildung des Hufeisenmagnetes verschaffe; nachdem es geschweißt und in gehörige Form gebracht ist, müsse man es in einem Ofen erhitzen, und nachher allmählig abkühlen lassen, indem man es ungestört läßt, bis der Ofen sich selbst abgekühlt hat, um einen Magnetismus gänzlich zu zerstören, den es zufällig während des obigen Vorgangs erlangt und beibehalten hat. Allein sogar nachdem jede Vorsicht getroffen ist, um Erfolg zu sichern, können wir noch durch Ursachen getäuscht werden, die wir nicht zu erklären vermögen, und welche, wenn alle Umstände dieselben zu sein scheinen, große und unerwartete Abweichungen in den Resultaten erzeugen. Auch ist zu beachten, daß ähnliche Verwirrungen bei der Leitung beinahe eines jeden Versuches in Elektromagnetismus oft vorkommen; die Resultate scheinen mehr oder weniger launenhaft im Verhältniß wie die nothwendig zu erfüllenden Bedingungen, unter denen Gleichförmigkeit erlangt werden kann, zahlreich und zart zu behandeln sind.

163. Die beste Form eines Leitungsdrahtes zur Aeußerung seiner Anziehung auf Eisenspäne ist die eines flachen Schraubengewindes, demjenigen ähnlich, welches Figur 66

dargestellt ist, welches jedoch zu dem Zweck nicht beweglich gemacht zu sein braucht. Ein Draht dieser Form, durch welchen man einen elektrischen Strom hindurch leitet, wird eine ungemeine Menge von Eisenspänen auffammeln und ihre verhältnißmäßigen Lagen und Anordnungen, so lange sie angeheftet bleiben, zeigen manche sonderbare Gestalten. Werden die Ringe des Drahtes nicht gänzlich bis zur Mitte fortgesetzt, sondern lassen sie dort eine Oeffnung, so ordnen sich die Eisentheilchen in Linien an, die mit der Achse parallel durch den Ring gehen, und die sich dann als Radien um den Rand schließen. Die Eisentheilchen in der Mitte richten sich in einen senkrechten Faden in der Richtung der Achse des Gewindes auf, während die zwischenliegenden Theilchen Fäden bilden, die sich von der Mitte im Verhältniß der Entfernung zu derselben neigen. Die Ursache ergibt sich aus dem §. 50. erklärten Grundsatz.

164. Es scheint ein sehr wesentlicher Unterschied in den Wirkungen des Schlages einer elektrischen Batterie, die durch einen Draht entladen wird, und denen einer Volta'schen Batterie in Mittheilung von bleibendem Magnetismus hinsichtlich der Stangen oder Nadeln zu bestehen. Savary hat mehre sehr merkwürdige Einzelnheiten, die sich darauf beziehen, dargelegt, welche bis jetzt noch keine Erklärung erlangt haben. Wird eine Entladung aus einer Leydener Batterie durch einen geraden Draht gesandt, so erhalten verschiedene Nadeln, obgleich an Größe gleich, mit einander parallel, und quer auf dieselbe Seite des Drahtes gelegt, jedoch in verschiedenen Entfernungen, die Anordnung ihrer Polaritäten nicht sämmtlich in derselben Weise. In einigen haben die Pole dieselbe Lage wie die einer vorher magnetisirten und frei sich bewegenden Nadel, welche die Lage angenommen hat, die sie unter dem Einfluß eines fortgesetzten Volta'schen Stromes einnehmen würde, der in derselben Richtung den Draht entlang geht. In andern aber ist die Lage der eingeführten Pole das Gegentheil. Wegen der Kürze des Ausdrucks werden wir die Wirkung, welche eine ähnliche Anordnung der Pole, wie ein Volta'scher Strom erzeugt, positive Magnetisirung und das Gegentheil negative Magnetisirung nennen. In einer Reihe von Versuchen, worin die Nadeln in Entfernungen vom Drahte aufgestellt waren, welche durch gleiche Zwischenräume sich vermehrten, war die Nadel an dem Berührungspunkt mit dem Drahte positiv magnetisirt, in der geringern Entfernung negativ; in einer etwas weitern Entfernung war gar kein Magnetismus erlangt worden; in einer noch größeren Entfernung zeigte

sich wieder positiver Magnetismus und diese Wirkung war auf einen gewissen Zwischenraum fortgesetzt, jenseits dessen die Magnetisirung wieder negativ war. In noch weiterer Entfernung war sie wieder positiv und so ging es in allen größeren Entfernungen, die man versuchte, fort. Somit scheint die Wirkung periodisch in Bezug auf die Entfernung, worin sie sich äußert.

165. Die Zahl der Perioden in diesen Abwechslungen sowie der Entfernungen scheint von einer Menge von Umständen abzuhängen, deren Wirkung einzeln darzulegen schwierig ist; z. B. von der Stärke der elektrischen Entladung, der Länge des geraden Drahtes, seinem Durchmesser, der Dicke der Nadeln und ihrem Grade der Hemmungskraft. Im Allgemeinen sind die erwähnten Abwechslungen weniger zahlreich, wenn die Drähte sehr dünn sind, und wenn die Hemmungskraft der Nadel sehr schwach ist; häufig sogar ereignet es sich unter diesen Bedingungen daß die Magnetisation überall positiv ist, und daß der einzige zu beobachtende Unterschied auf verschiedenen Stufen der Entfernung in der größeren oder geringeren Stärke besteht.

166. Wird die Entladung aus einer elektrischen Batterie durch einen Draht gesandt, der in der Form eines Schraubengewindes um Glas oder hölzerne Röhren gewunden ist, so zeigt sich ein ähnlicher Unterschied in den Wirkungen auf verschiedene Nadeln, die hinter einander in das Innere der Röhren und in verschiedenen Lagen in Bezug auf die Achse gestellt sind. Dadurch, daß man die Stärke der Ladung einer Batterie oder die Länge oder Dicke der Nadel verändert, verändert sich die Natur des Ergebnisses. Der höchste Grad magnetischer Stärke, der sich von einem gegebenen Draht erzeugen läßt, hängt von dem Verhältniß zwischen seiner Länge und Dicke ab, so daß der Grad der Magnetisation, der bis zur Sättigung steigt, eine Beziehung zum Werthe dieses Verhältnisses hat. Der Grad einer magnetischen Kraft, den eine Nadel durch eine elektrische Entladung erhält, und sogar die Richtung der Magnetisation hängt ebenfalls von der Natur und den Dimensionen der Körper ab, welche damit in Berührung stehen oder sie umgeben.

167. Der magnetische Einfluß eines Schraubengewindes, durch welches eine elektrische Entladung hindurchgeht, wird durch einen Kupfercylinder von genügender Dicke, welcher die Nadel einschließt und in das Schraubengewinde eingeführt ist, vollkommen aufgefangen. Ist der zwischenliegende Cylinder von geringerer Dicke, so wird einige magnetische Wirkung sichtbar, und wenn die Dicke des Kupfercylinders noch

mehr gemindert wird, so wird die Nadel sogar noch stärker magnetisch, als wenn sie der Wirkung des Schraubengewindes ohne zwischenliegenden Stoff ausgesetzt wird. Zinn, Eisen und Silber, um die Nadel gelegt, erzeugen eine ähnliche Veränderung der elektromagnetischen Wirkung des Schraubengewindes; sie steigern diese Wirkung, wenn sie in sehr dünnen Platten zwischengelegt sind; wenn sie eine gewisse Dicke haben, so fangen sie dieselbe gänzlich auf. Cylinder, die aus Metallspänen zusammengesetzt sind, erzeugen diese Wirkung nicht, während wir die auffangende Eigenschaft wieder antreffen, wenn der zwischenliegende Stoff aus concentrischen Schichten zusammengesetzt ist, die abwechselnd aus Metall- und aus Nichtmetallkörpern bestehen. Daraus scheint es sich zu ergeben, daß diese Unterbrechungen des fortlaufenden Zusammenhangs in einer Richtung, die senkrecht zur Achse der Nadel oder zur Achse des Schraubengewindes ist, einen beträchtlichen Einfluß auf die Magnetisirungswirkung der letzteren auf die ersteren haben. Ein Einfluß ähnlicher Art ist bei Metallplatten verschiedener Dicke beobachtet worden, die in Berührung mit einer Nadel gestellt wurden, welche in Bezug auf einen geraden Leitungsdraht zur Aufnahme der Ladung einer elektrischen Batterie passend gestellt war; man fand, daß in Bezug auf ihre Größe und Lage die Stärke und sogar die Richtung des von der Nadel erworbenen Magnetismus vermindert worden war.

168. Alle diese Erscheinungen scheinen von der Plötzlichkeit der Wirkung abzuhängen, welche durch den elektrischen Schlag sowohl direkt auf die Theilchen, die er in seinem Laufe trifft, wie auf Gegenstände geübt wird, die von dem ihn umgebenden Raum etwas entfernt liegen. Die Richtung der Magnetisation aber in Bezug auf ihre positive oder negative Art hängt wesentlich von der Stärke der Entladung ab, so daß die Entladungen verschiedener Stärken in dem Metall eine Reihe von entgegengesetzten Zuständen entwickeln, die den Polaritäten entgegengesetzter Zeichen entsprechen, welche in verschiedenen Entfernungen vom Leitungsdraht oder durch verschiedene Stärken Elektrizität erworben werden.

Elftes Kapitel.

Gegenseitige Wirkung elektrischer Ströme.

§. 1. Wirkung paralleler geradlinigter Ströme.

169. Die Entdeckung Oersted's und alle bisher aus dem Grundgesetz entwickelten Folgen, welche die gegenseitige Wirkung zwischen elektrischer Ströme und magnetischen Körpern zu erläutern scheinen, gehören zu derjenigen Abtheilung des Gegenstandes, auf welche der Ausdruck Elektromagnetismus eigentlich angewandt wird. Sie betreffen nämlich die Beziehungen, welche zwischen den zwei Wirksamkeiten der Elektrizität und des Magnetismus bestehen, die wir als von einander verschieden zu betrachten gewohnt sind. Elektrische Ströme aber haben auch eine gegenseitige Wirkung auf einander, und diese allgemeine Thatsache, welche Ampère bald nach Oersted's Entdeckung erkannte, veranlaßte eine andere große Abtheilung der Wissenschaft, und das Gesetz, worauf dasselbe gegründet ist, ist nicht weniger reich in seinen Folgen, und wichtig in seinen Anwendungen, wie dasjenige, welches wir bisher erforscht haben. Ampère hat diesem Zweig den Namen Elektrodynamik ertheilt.

170. Werden zwei Leitungsdrähte aufgehängt, oder in solcher Weise gestützt, daß sie sich auf einander hin oder von einander weg bewegen können, so äußern sie, wenn die elektrischen Ströme durch sie hindurchgehen, eine gegenseitige Anziehung oder Abstoßung, je nachdem die Ströme sich in denselben oder in entgegengesetzten Richtungen in den zwei Drähten bewegen. Diese Wirkung wird verschieden verändert, wenn die Neigungen und Lagen der Ströme abwechseln.

171. Wir beginnen mit dem einfachsten Fall, worin zwei Ströme in parallelen Richtungen mit einander laufen. Die Anziehung und Abstoßung zweier Ströme läßt unter diesen Umständen eine große Zahl Erläuterungen zu, je nach den verschiedenen Weisen, worin die Leitungsdrähte aufgehängt und beweglich sind. So lassen sich die Drähte in den

Vorrichtungen, welche §. 143 und 144 beschrieben wurden (Fig. 92 und 93) zu dem Zweck anwenden, indem man die scheitelrechten oder Horizontalzweige einem geraden Drahte zur Genüge nähert, durch welchen ein elektrischer Strom ebenfalls hindurchgeht.

Folgendes ist auch eine Vorrichtung, um diese Erscheinung zu zeigen. T, Fig. 96, zeigt eine rechteckige Tafel, worauf sich vier aufrechte Säulen erheben, welche zwei Querstücke von Holz tragen; dieselben haben eine Reihe Löcher zur Aufnahme von vier Schalen, zwei auf jedem Stück, deren Entfernung von einander sich durch diese Löcher nach Belieben wechseln läßt. Kurze Drähte aaaa gehen horizontal vom

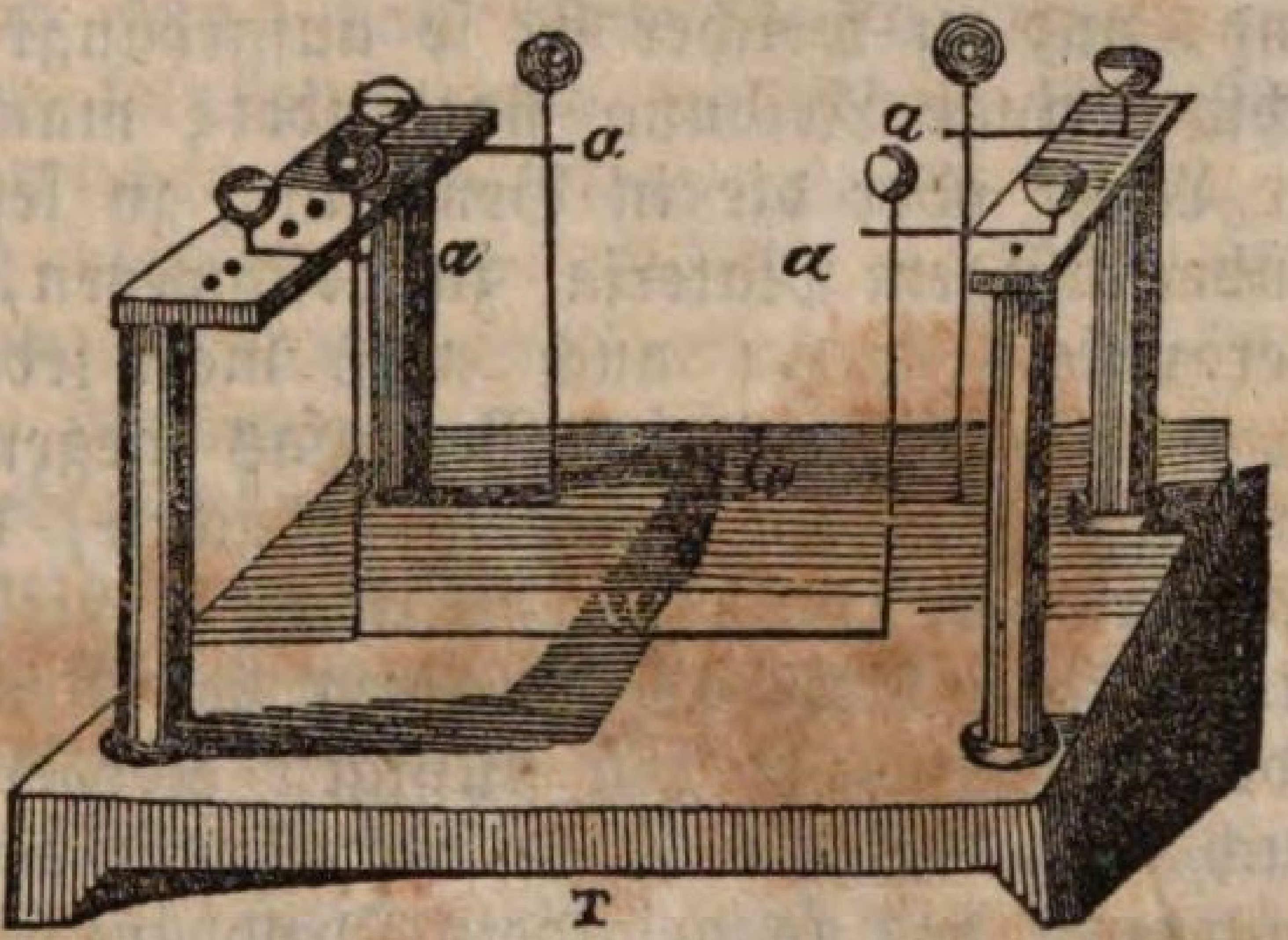


Fig. 96.

Boden der Schalen aus, und dienen als Zapfen, um welche die zwei Drähte Ww zweimal in rechten Winkeln gebogen, am oberen Theil ihrer scheitelrechten Zweige sich umdrehen, indem sie kleine zu dem Zweck eingebohrte Löcher haben; diese Drähte, welche frei auf ihren Zapfen hängen, haben an ihren oberen Enden kleine Gewichte, welche die Schwerpunkte so nahe wie möglich mit den Aufhängungspunkten zusammen bringen, so daß sie sich durch eine sehr leichte Kraft bewegen lassen. Leitungsdrähte, die von einer Volta'schen Batterie ausgehen, werden alsdann in die vorher mit Quecksilber gefüllten Schalen in solcher Weise gethan, daß der galvanische Strom in derselben Richtung durch beide parallele Drähte hindurchgeht. Im Augenblick, wo dies geschieht, bewegen sich die Drähte, sogar aus der Entfernung von mehren Zoll auf einander hin, und zeigen eine gewaltige

gegenseitige Anziehung. Werden die Ströme in Richtungen einander entgegen in den zwei Drähten überliefert, was man bewirken kann, wenn man die Mittheilungsdrähte versetzt, welche in die Schale eingebracht sind, und welche zu einem der beweglichen Drähte führen, während man die andern im früheren Zustand läßt, so gehen die beweglichen Drähte sogleich von einander zurück, und zeigen eine Abstoßung, die so stark ist, wie früher die Anziehung.

172. Die elektromagnetischen Kräfte, die man von Volta'schen Batterien gewöhnlicher Kraft erlangt, sind so schwach im Vergleich mit der Schwerkraft, daß man beim Erscheinen von Versuchen, um ihre Wirksamkeit zu zeigen, die Vorrichtung in einer Weise einrichten muß, in welcher die durch diese Kräfte zu bewegenden Theile so leicht wie möglich sind, und in welcher sie so aufgehängt werden, daß die möglichst geringe Reibung stattfindet; man muß darauf achten, die Leiter oder die in Bewegung zu setzenden Theile nicht mit überflüssigem Material zu beschweren, welches das Gewicht vergrößern kann; auch muß man jede Anordnung vermeiden, worin sie sich im Gegensatz gegen ihre eigene Schwere bewegen müßten. Die Oberflächen, die man über das Quecksilber bewegen will, müssen so viel wie möglich vermindert werden, nicht allein wegen der Reibung, welche zwischen den festen und den flüssigen Körpern stattfindet, sondern auch weil die Oberfläche des Quecksilbers sich schnell oxydirt, und weil das so gebildete Oxydhäutchen der Bewegung eines festen Körpers beträchtlichen Widerstand entgegensetzt und die mechanische Wirksamkeit der Vorrichtung sehr steigert. Im Allgemeinen wird man finden, daß die scheitelrechte Aufhängung an einem Punkte bei weitem der Aufhängung auf einer Horizontalachse vorzuziehen ist, weil die erstere eine geringere Reibung veranlaßt. So findet Watkins, daß Anziehungen und Abstoßungen von Drähten, welche Volta'sche Strömungen übersenden, mit mehr Leichtigkeit sich äußern, wenn sie scheitelrecht hängen, indem ihre Enden oben und unten mit Behältern enden, wie wenn sie sich horizontal und in der Vorrichtung drehen, welche die vorhergehende Figur zeigt.

Die Anziehungen und Abstoßungen lassen sich mit einem sehr schwachen Strom von Elektrizität zeigen, vermittelst des schon beschriebenen Golplättchen-Galvanoskopes (§. 127). Entfernt man den Magnet, und steckt man einen dicken Draht in das Instrument, welcher in eine Glasröhre eingeschlossen ist, so läßt sich parallel mit dem Goldplättchen und in dessen Nähe ein starker Strom durch den Draht richten, während

ein schwacher Strom durch das Goldplättchen hindurch gesandt wird, welches alsdann die Anziehungen und Abstoßungen paralleler Ströme zeigt, je nachdem sie in derselben oder in entgegengesetzten Richtungen laufen, denn diese Wirkungen finden gleicherweise statt, wenn die zwei Ströme von besonderen Volta'schen Verbindungen erlangt werden, und wenn sie bloß zwei Theile desselben Stromes in verschiedenen Theilen seines Laufes sind.

173. Letzterer Fall findet statt, wenn ein Draht in solcher Weise zu einem Schraubengewinde gebildet wird, daß er verschiedene Theile eines Stromes, der in derselben Richtung geht, einander sehr nahe bringt. Der Verfasser dieser Schrift kam bald, nachdem er von Ampèr's Entdeckung der Anziehung elektrischer Ströme gehört hatte, auf den Gedanken, es könne möglich sein, daß man die Anziehung zwischen den auf einander folgenden und parallelen Windungen eines Schraubengewindes sehr merkbar machen könne, wenn dieselben genug biegsam und elastisch wären, und er stellte mit Hilfe von Faraday den Versuch an. Ein kleiner Harmonikadraht, schraubenförmig gebogen, wurde in eine Volta'sche Kette gebracht; er verkürzte sich sogleich, wie der elektrische Strom hindurchgesandt wurde, erlangte aber wieder seine früheren Größenverhältnisse im Augenblick, worin der Strom unterbrochen ward. Es wurde hierbei vermuthet, daß wahrscheinlich später eine Aehnlichkeit zwischen dieser Erscheinung und der Zusammenziehung der Muskelfasern aufgefunden werden kann, welche durch alle Eigenschaften des Nervensystems geleitet zu werden scheint, die der elektrischen Wirksamkeit nicht ungleich sind. Prevost und Dumas haben eine ähnliche Theorie der Muskelzusammenziehung aufgestellt, die auf einer vermutheten Vertheilung der Nervenfasern beruht, durch welche nach ihrer Annahme ein Strom Elektrizität gesandt werden würde, um die Wirksamkeit zu bestimmen, welche der Zusammenziehung vorhergeht. Diese Theorie halten sie für begründet durch mikroskopische Beobachtungen; sie ist aber noch bei weitem zu sehr eine bloße Vermuthung, als daß sie eine ernstliche Behandlung verdiente.

174. Nach Darlegung der Thatsache der gegenseitigen Wirkung elektrischer Strömungen gehen wir zur Betrachtung der verschiedenen Veränderungen über, welche sie durch die Umstände in Bezug auf Eigenschaft und Richtung der Strömungen erleidet.

175. Wir besitzen bis jetzt eine noch unvollkommene Kenntniß von den besondern Einwirkungen, welche die Elektrizität in Bewegung erleidet und wodurch sie befähigt wird,

die eigenthümliche Art Thätigkeit zu äußern, welche wir hier erforschen, und welche von ihrer Abstoßungskraft, wenn sie ruht, so verschieden ist. Diese zwei Klassen Wirkungen gehorchen Gesetzen, die nicht allein verschieden, sondern in gewisser Hinsicht von gänzlich entgegengesetzter Natur sind. Angehäufte Elektrizität, wenn sie sich nicht in Bewegung befindet, wirkt in einem Grade, der im Verhältniß zu ihrer Spannung steht; die Drähte aber, welche einen elektrischen Strom in Bewegung leiten, äußern kein Zeichen elektrischer Spannung; sie erzeugen keinen Wechsel im Elektrometer, und ziehen weder leichte Körper in ihrer Nähe an, noch stoßen sie dieselben ab. Das Gesetz der Wirksamkeit im Zustand der Ruhe besteht darin, daß ungleiche Elektrizitäten sich anziehen, gleiche sich abstoßen. In der Bewegung dagegen ziehen sich gleiche Strömungen, d. h. solche an, die eine gleiche Richtung haben, während die Abstoßung zwischen ungleichen Strömungen stattfindet. Die elektrostatischen Wirkungen der elektrischen Spannung hören nach Entfernung des atmospärischen Druckes auf; die elektrodynamischen Wirkungen der Strömung finden gleichfalls statt, mag der Leiter von der Luft umgeben sein, oder in leerem Raum sich befinden.

176. Da die Wirkungen elektrischer Ströme die Folgen der Bewegung der Elektrizität sind, so ist auch die Annahme natürlich, daß sie im Verhältniß zur Geschwindigkeit ihrer Bewegung eben sowohl wie zu dem in Bewegung gesetzten Betrage stehen. Wir wissen aber nichts von der wirklichen Geschwindigkeit, womit elektrische Wirkungen sich auf einen leitenden Körper, während der Vollständigkeit der Volta'schen Kette fortpflanzen; eben so wenig wissen wir, ob diese Geschwindigkeit in verschiedenen Fällen wechselt; noch auch haben wir eine bestimmte Vorstellung von den Ursachen, die eine solche Veränderung erzeugen können; wir können jedoch erkennen, daß die Art der Uebersendung einen beträchlichen Einfluß auf das Resultat äußert. Die von vollkommenen Leitern übersandten Strömungen sind ununterbrochen fortlaufend, d. h. ihre Stärke ist bleibend oder wechselt unmerkbar, in den aufeinander folgenden Augenblicken. Sind aber die Leiter unvollkommen, so sind die Strömungen nicht ununterbrochen fortlaufend; denn der Elektrizität ist gestattet, sich auf eine gewisse Zeit aufzuhäufen, bis die Isolirkraft überwunden ist, worauf sie entweicht und mit einem gewissen Anstoß, der einer Explosion gleicht, weitergeht. Da die elektromotive Kraft zu wirken fortfährt, so entsteht eine zweite Anhäufung und eine neue Explosion u. s. w. Diese Abwechslungen können so schnell sein, daß sie unsern

Sinnen entgehen und so die Erscheinung eines ununterbrochenen Stromes erzeugen, obgleich derselbe in Wirklichkeit unterbrochen wird. Der unterscheidende Charakter solcher Ströme besteht darin, daß sie eine Abweichung in der Magnetnadel nicht zu erzeugen vermögen. Dies ist der Fall bei dem von gewöhnlichen Elektrisirmaschinen erzeugten Strome, wenn eine Verbindung zwischen den positiven und negativen Leitern hergestellt ist, ebenso bei den Strömen, die in sogenannten sekundären Säulen Ritters oder den Säulen entstehen, welche durch eine Reihe von Metallscheiben gebildet werden, die durch feuchte Leiter getrennt sind (Elektrizität §. 93). Entladungen aus der Leydener Flasche, obgleich sie einen Grad bleibenden Magnetismus in Stahlstangen, in deren Nähe sie vorübergehen, zurücklassen, zeigen dennoch kaum eine Spur ihrer Wirkung auf der Nadel des Galvanometers, wenn sie durch die Drähte dieses Instrumentes gehen.

177. Da die ununterbochene Fortlaufung des elektrischen Stromes diejenige Eigenschaft ist, worauf es am meisten in Erzeugung der Wirkungen ankömmt, welche den Gegenstand unserer Betrachtungen bilden, und da es für uns unmöglich ist, die Verschiedenheiten der Geschwindigkeit oder des Betrages in einer andern Weise wie durch die Totalwirkung zu erkennen, welche sich aus dem Durchgang des Stromes durch einen leitenden Körper ergibt, so werden wir die ununterbrochenen fortlaufenden Ströme nur in Bezug auf ihre Stärken unterscheiden, und über die Grade der Stärke allein nach dem Grade der Wirkungen urtheilen, die am Galvanometer gezeigt werden.

178. Um auf das Grundgesetz der elektrodynamischen Wirkungen der Ströme aufeinander zu gelangen, müssen wir die Totalwirkung eines Jeden als ein Ergebniß der vereinigten Wirkung seiner Theile betrachten. Da es nicht möglich ist, ein unmittelbares Maß der Elementarkräfte aufzustellen, welche von jedem unendlich kleinen Theilchen auf einander geübt werden, so läßt sich die Untersuchung nur dadurch anstellen, daß wir irgend eine Vermuthung in Bezug auf das Gesetz der Verminderung nach der Entfernung annehmen, indem wir die Folgerungen einer solchen Vermuthung verfolgen, wenn wir sie auf solche endliche Theilchen eines Stromes anwenden, wie dieselben in unseren Versuchen vorkommen, und daß wir sie alsdann mit wirklicher Beobachtung vergleichen; stimmen sie damit überein, so ist dies der Beweis, daß die Vermuthung zuläßig ist.

179. Durch die Analogie aller andern Kräfte in der

Natur geleitet, wollen wir annehmen, daß die gegenseitigen Wirkungen der Elementartheilchen eines elektrischen Stromes sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernung verhalten und dies ist wirklich die Vermuthung, welche am besten mit allen bis jetzt bekannten Thatsachen übereinstimmt. Nehmen wir z. B. an, daß A (Figur 97) ein unendlich kleiner Theil

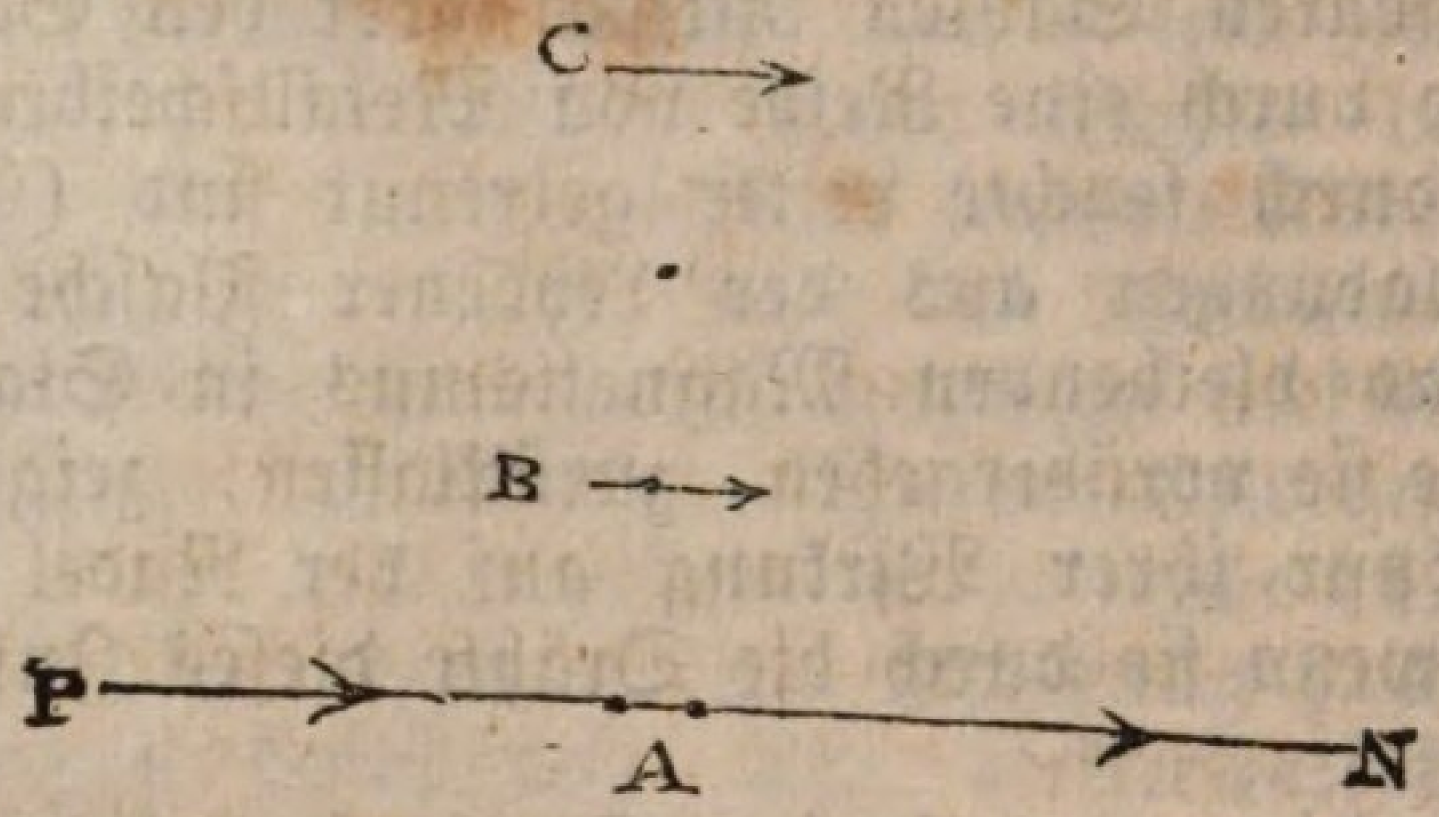


Fig. 97.

des geradlinigten Stromes PN ist, der sich von der Rechten zur Linken bewegt, so wird er auf ein anderes Elementartheilchen B eines Stromes, der sich in gegebener Entfernung befindet, mit neunmal der Stärke einwirken, die er auf ein ähnliches Theilchen eines Stromes bei C in dreimal weiterer Entfernung ausübt. Nennen wir die Anziehungskraft f die Stärke des ersten Stromes a und die des zweiten Stromes b und die Entfernung zwischen ihnen, oder die Linie BA, d, so drückt folgende Gleichung das Gesetz aus:

$$f = \frac{ab}{d^2}$$

180. Es läßt sich mathematisch darthun, wenn dies das Gesetz der Elementarwirkung sei, so ergebe es sich als nothwendige Folge, daß die totale Wirkung eines Stromes PN, der in unendlicher Länge ausgedehnt ist, auf den Elementartheil eines parallelen elektrischen Stromes, der in gegebener Entfernung daranliegt, in dem einfachen umgekehrten Verhältniß der kürzesten Entfernung zwischen ihnen steht, d. h. einer Linie, die vom einen zum andern gezogen und zu beiden senkrecht ist. So ist in dem eben gegebenen Beispiele, wo die Entfernung CA dreimal die Entfernung BA beträgt, die Wirkung des unbegrenzten Stromes PN drei=

mal größer auf B wie auf C, so daß, wenn die Totalwirkung durch F ausgedrückt wird,

$$F = \frac{ab.}{d}$$

181. Die Wirksamkeit, sowohl die anziehende wie die abstoßende, zweier Elementartheile eines Stromes muß in der Richtung der Linie geäußert gedacht werden, welche sie verbindet und die wir der Deutlichkeit wegen die Mittellinie (Mediallinie) nennen wollen, so daß im Falle zweier paralleler Ströme AB (Fig. 98), die sich in derselben Richtung bewegen, die durch die kurzen Pfeile aa bezeichnete Anziehung in der Richtung der Mittellinie AB stattfindet, und daß im Falle die Strömungen CD, die gleichfalls parallel sind, die sich aber in verschiedenen Richtungen bewegen, eine Abstoßung stattfindet, wie sie die kurzen Pfeile in der Richtung derselben Linie zeigen. Es ist zu beachten, daß die Wirkung jedes Stromes senkrecht zur Richtung dieses Stromes steht.

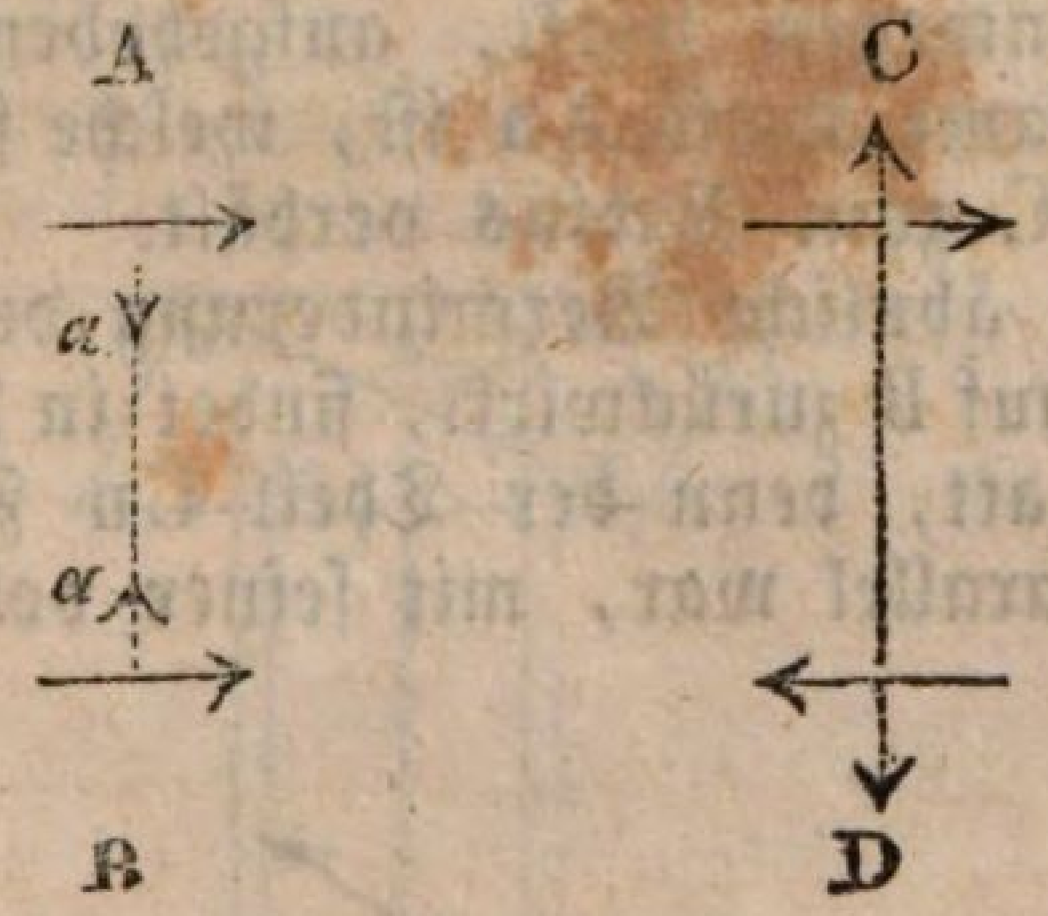


Fig. 98.

Wirkung geneigter geradliniger Ströme.

182. Denken wir zunächst, daß die beiden Ströme in derselben Ebene bleiben, daß aber die Richtung eines derselben A von der parallelen zur Stellung Cc wechselt, so wird die Wirkung immer noch senkrecht zu dieser Stellung sein, d. h. der Strom A wird sich in der Linie Aa in rechtem Winkel zu Cc bewegen; die Kraft aber, welche ihn so antreibt, wird sich im Verhältniß des Radius zum Sinus des Winkels BAC vermindern, welchen die Richtung des Stromes mit der Mittellinie AB bildet. Dies wird sich

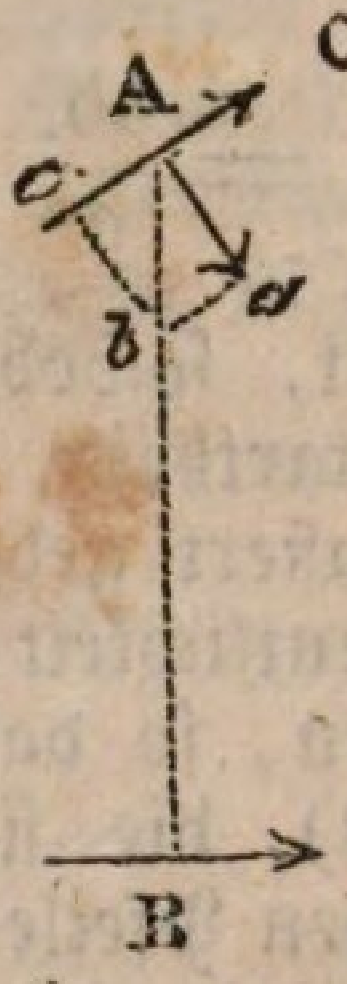


Fig. 99.

ergeben, wenn man die Kraft Ab in die zwei Kräfte Aa und AC auflöst, von welcher die letztere, die der Richtung des Stromes entgegen wirkt, aufgehoben wird, während die einzige wirksame Kraft Aa ist, welche sich zu ab wie der Sinus von BAC zum Radius verhält.

183. Eine ähnliche Verminderung der Kraft, wodurch der Strom A auf B zurückwirkt, findet in Folge seiner schrägen Richtung statt, denn der Theil Cn Fig. 100, welcher, als er mit B parallel war, mit seiner vollen Kraft wirkte,

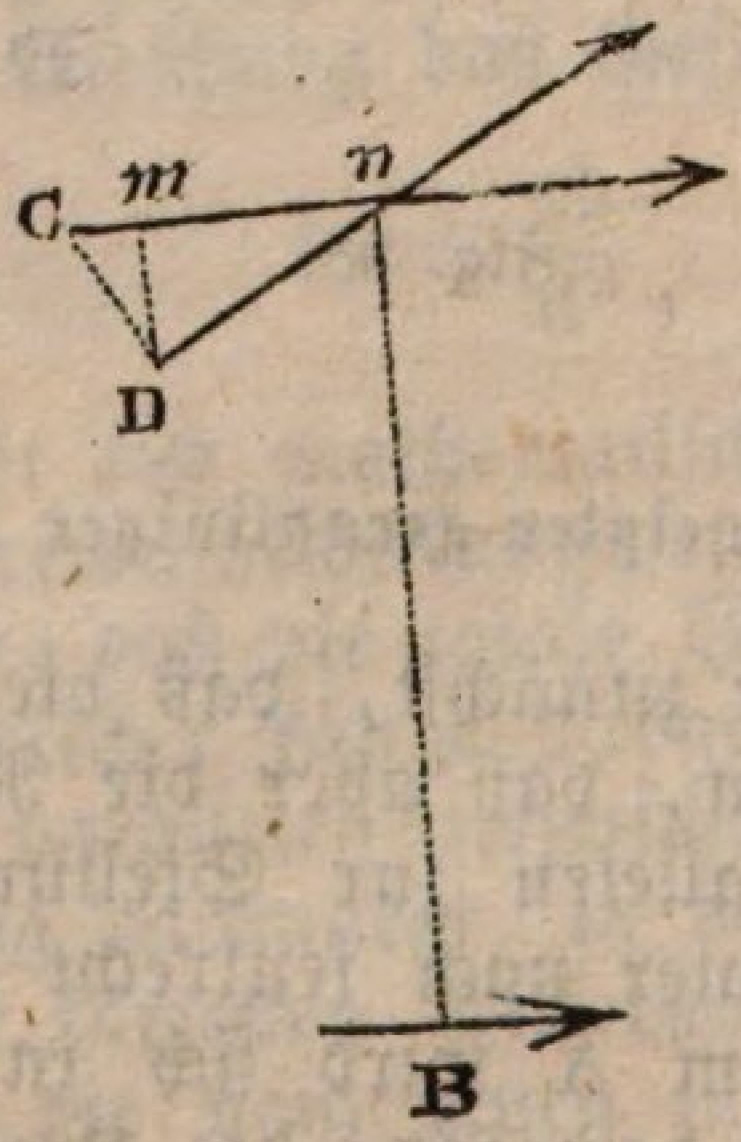


Fig. 100.

hat allein die Kraft des Theiles mn, wenn er in der schrägen Richtung Dn wirkt, indem die Verminderung im Verhältniß zum Cosinus des Winkels CnD, oder was dasselbe ist, zu dem Sinus des Winkels DnB steht. Die gegenseitige Wirkung des Stromes, der in derselben Ebene aber in schrägen Lagen liegt, läßt sich deßhalb, soweit diese schräge Linie betheiligt ist, durch folgende Gleichung ausdrücken, worin α und β die Winkel bezeichnen, welche die Richtungen der Ströme mit der Mittellinie bilden.

$$f = \sin.\ \alpha\ \sin.\ \beta.$$

184. Untersuchen wir jetzt die Veränderung, welche die Formel erhalten muß, wenn zwei Strömungen in verschiedenen Flächen liegen. Wir haben gesehen, daß die wirkende Kraft eines schrägen Stromes in ihrer Einwirkung auf einen andern Strom dadurch erlangt wird, daß man diese Kraft auf eine Richtung in rechten Winkeln zur Mittellinie zurückführt; man denke sich, dies geschehe in Bezug auf beide Ströme A und B Fig. 101, wobei der erstere auf die Linie Aa, der letztere auf die Linie bb zurückgeführt

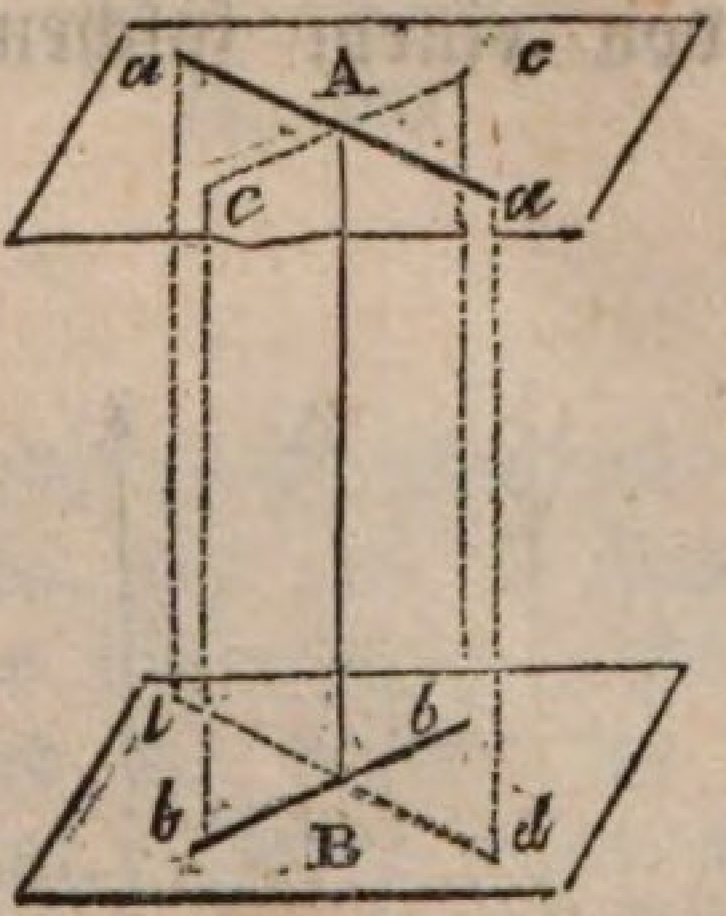


Fig. 101.

wird, die in senkrechten Flächen zur Mittellinie AB liegen. Die Kraft aA in der Richtung Ac angeschlagen, welche parallel mit Bb gezogen ist, oder die Kraft Bb, die in der Richtung von Bd angeschlagen wird, welche parallel mit Aa gezogen ist, wird in jedem Fall in das Verhältniß des

Radius zum Cosinus des Winkels aAc oder dBd zurückgeführt werden, welcher ihm gleich ist, und welcher sich als der Winkel zwischen zwei Flächen bestimmen läßt, die durch die Mittellinie und jeden Strom gehen. Nennt man diesen Winkel μ, so wird die Formel, welche alle möglichen Stellungen des Stromes, sowohl in derselben, wie in verschiedenen Ebenen schließt, wenn die Stärken und die Entfernung zwischen den Strömen ebenfalls beachtet worden sind, folgende:

$$f = \frac{a\,b\,(\sin.\ \alpha.\ \sin.\ \beta\ \cos.\ \mu.)}{d^2}$$

welches die Wirkung der Strömungen ausdrücken wird, die in der Richtung der Mittellinie angeschlagen ist, vorausgesetzt, die Vermuthung, wovon wir ausgingen, ist die richtige.

185. Der Versuch jedoch, das einzige Prüfungsmittel über die Richtigkeit einer physischen Theorie, beweist, daß ein Element in diesem Verfahren noch fehlt, wonach wir den Werth der Kräfte angeschlagen haben. Im Fall ein Elementartheil des Stromes A die genaue Richtung der Mittellinie hat, das heißt wenn er in gerader Linie, sowohl nach einem Elementartheilchen des Stromes B Fig. 102 hingeht, oder von einem solchen sich fortbewegt, so

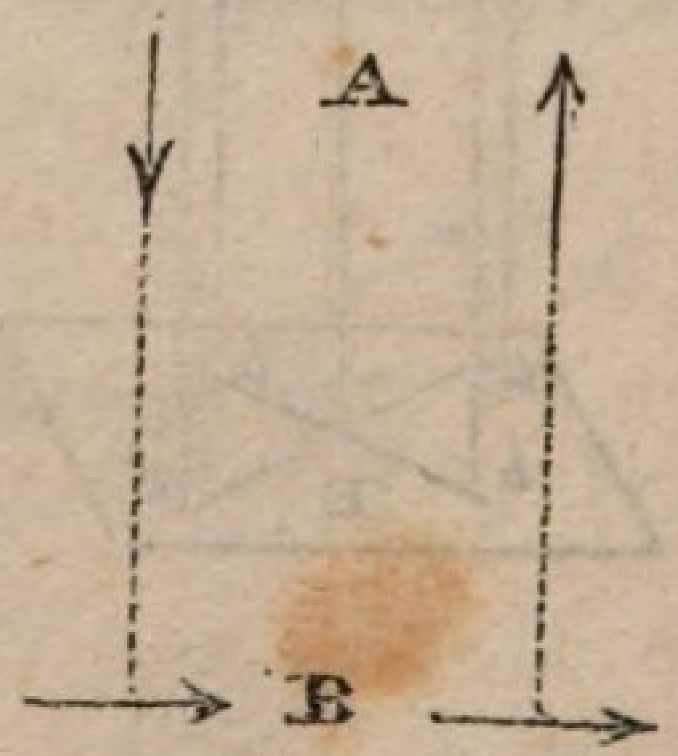


Fig. 102.

müßte aus obigen Formeln folgen, daß keine Thätigkeit zwischen denselben stattfinden kann; denn da der Winkel α auf Null dadurch gebracht ist, so verschwindet auch sein Sinus, und dasselbe Resultat mußte sich ergeben, wenn die

Flächen, worin die zwei Ströme liegen, zu einander in rechten Winkeln sind, denn in dem Fall verschwindet der Cosinus von μ und die ganze Funktion, welche den Werth von f ausdrückt, wird gleich Null. Diese Zerstörung der Kraft müßte stattfinden, von welcher Art auch die Stellung der Kraft D sein mag.

186. Dies jedoch ist nicht der Fall, ausgenommen wenn der Strom B in rechtem Winkel zur Mittellinie steht. Befindet er sich in einer anderen Stellung, und besonders, fällt er in einer Richtung mit der Mittellinie zusammen, so äußert sich eine Abstoßung. Dies ergibt sich aus folgendem Versuche.

187. Man nehme eine flache ovale Glas- oder Porzellanschüssel Fig 103, trenne sie in zwei Abtheilungen durch ein mit Kitt befestigtes Glas und fülle die Abtheilungen mit

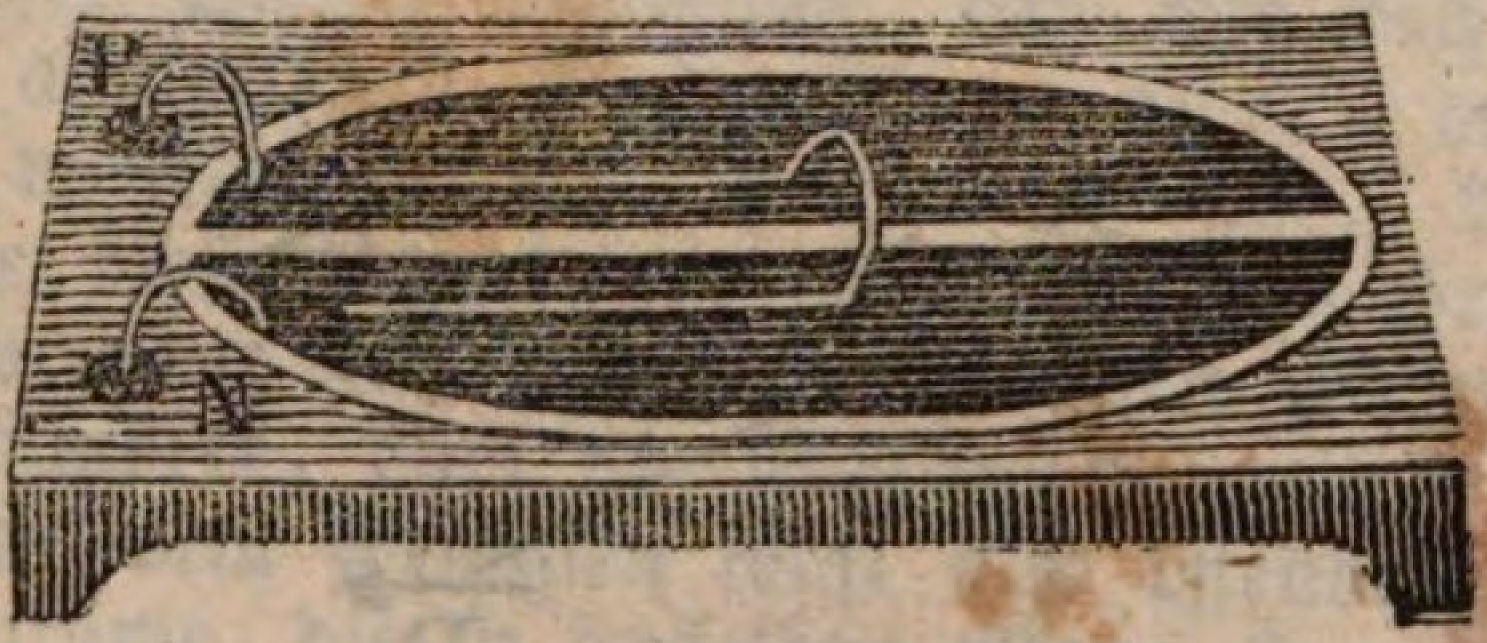


Fig. 103.

Quecksilber. In eine jede dieser Mulden füge man die Seiten eines Kupferdrahtes ein, die wie in Figur 103 gebogen sind, so daß sie parallel zur Abtheilung liegen, über welche der Bogen hingeht, welcher die beiden im Quecksilber schwimmenden Theile vereinigt. Jeder Theil dieses Drahtes, mit Ausnahme der an seinen Enden genieteten Stahlspitzen sei mit Seide bedeckt. Nachdem zwei Drähte, welche die Verbindungen mit den zwei Polen einer starken Volta'schen Batterie bilden, in die Schalen P und N eingefügt worden sind, die mit dem Quecksilber in dem Becken in der Richtung der geraden Verzweigungen des verlängerten Drahtes in Verbindung stehen, wird der Strom von dem einen durch das Quecksilber in der anstoßenden Abtheilung zu der Stahlspitze übergehen, die zu einem der Ende des Drahtes gehört, und wird dann, indem er durch die ganze Ausdehnung des Drahtes umläuft, in das Quecksilber der Abtheilung aus-

gehen und von einem dritten Drahte fortgeführt werden. Man findet, sobald dieser Strom hergestellt ist, daß der Draht sich in der Richtung der langen Verzweigungen bewegt, bis er am Ende des Geschirres aufgehalten wird. Diese Abstoßung wird nicht allein in der unendlich kleinen Entfernung geübt, die zwischen den unmittelbar aufeinanderfolgenden Theilen stattfindet, sondern auch auf den endlichen Entfernungen zwischen allen Theilen desselben Stromes.

188. Da sich aus diesen und andern Versuchen ergibt, daß Theile derselben oder verschiedener Ströme, die sich in derselben ununterbrochen fortlaufenden Richtung oder in schiefen Winkeln bewegen, einander abstoßen, hielt es Ampère für nothwendig, noch einen andern Ausdruck in die Formel einzuführen. Da die Wirkung, welche man dieser Ursache zuschreiben muß, am größten ist, wenn die zwei Ströme in derselben fortlaufenden Linie liegen, wie in AB Fig. 104,

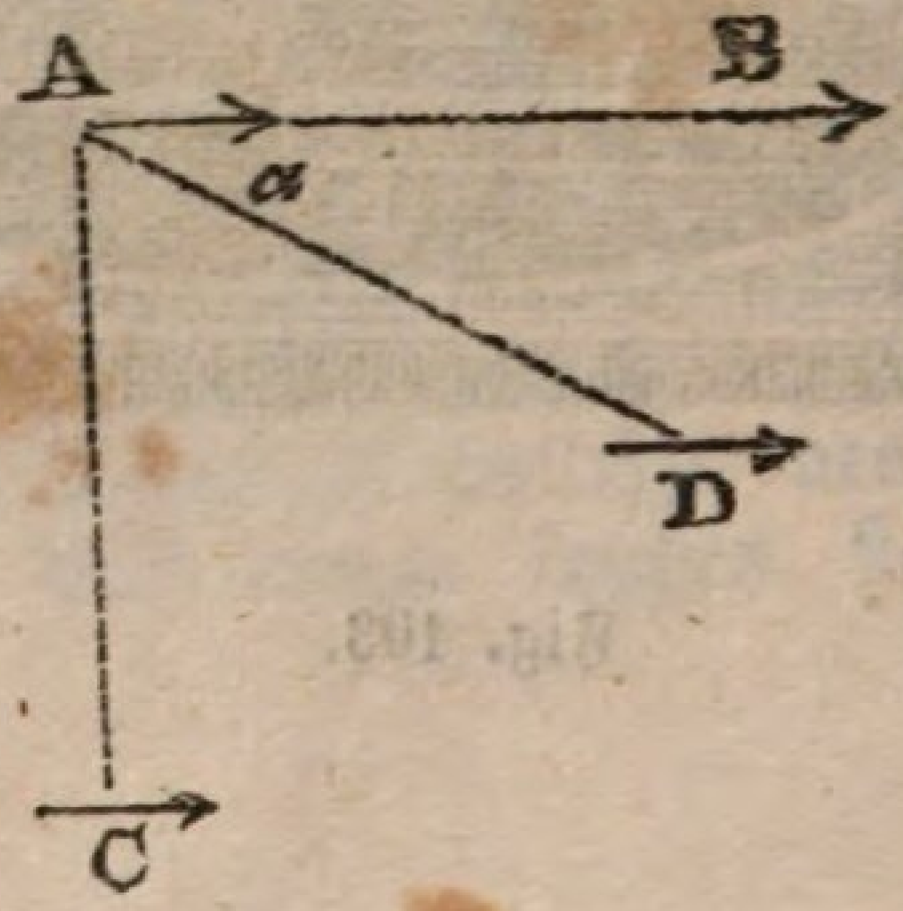


Fig. 104.

und da sie verschwindet, wenn die Mittellinie in rechtem Winkel zu ihnen steht, wie in den Lagen A und C, so schloß er, daß die Wirkung in allen zwischenliegenden Lagen, z. B. bei D in dem Verhältniß des Cos. des Winkels BAD zwischen der Richtung des Stromes A und der Mittellinie AD stehen wird, welche wir schon durch α ausgedrückt haben. Dieselbe Schlußfolge läßt sich auf den Strom D anwenden, wenn die Abweichungen der Lage mit in Berechnung gezogen werden. Der zu der früher bestimmten Kraft hinzugefügte Ausdruck muß deßhalb eine Funktion der Cos. der Winkel α und β sein und läßt sich deßhalb dadurch ausdrücken, daß man ihnen den unbestimmten Coefficienten k vorsetzt. Somit haben wir jetzt:

$$f = \frac{ab}{d^2} (\sin.\ \alpha.\ \sin.\ \beta.\ \cos.\ \mu + k \cos.\ \alpha.\ \cos.\ \beta)$$

189. Ampère hatte in seinen früheren Untersuchungen den Werth von k als so klein betrachtet, daß man ihn unbedenklich vernachlässigen könnte, allein spätere Nachforschungen führten ihn zum Schluß, derselbe sei gleich — ½, so daß das Ganze dieser zweiten Bezeichnung in der Formel negativ ist, wenn die Cosinus der zwei Winkel selbst positiv sind.

190. Die elektrodynamischen Kräfte, welche so durch Volta'sche Ströme in Wirksamkeit berufen sind, und deren Stärken und Richtungen sich nach den oben angegebenen Gesetzen bestimmen lassen, sind denselben Gesetzen der Zusammensetzung und Auflösung unterworfen, wie andere mechanische Kräfte und bieten dieselbe Leichtigkeit für die Anwendung mathematischer Darlegung. Natürlich ist es in den Grenzen dieser Schrift unmöglich, daß wir auch nur einen Umriß der analytischen Nachforschung geben, aus welcher verschiedene wichtige Schlüsse herzuleiten sind. Wir müssen uns auf die bloße Angabe der Ergebnisse beschränken und hinsichtlich weiterer Belehrung über diesen Gegenstand auf Werke von Ampère, Biot nnd Savary verweisen.

191. Aus dem Gesagten folgt also offenbar, daß zwei elektrische Ströme, die in derselben Ebene liegen, wenn sie sich in irgend einem Winkel nach einander neigen, sich gegenseitig abstoßen, wenn einer derselben dem Gipfel des Winkels sich nähert und der andere davon zurückweicht, und daß sie sich im Gegentheil anziehen, wenn sich beide dieser Spitze des Gipfels nähern oder davon zurückgehen. Wenn die Stärken und Lagen der Stömungen in den zwei Fällen dieselben sind und der einzige Unterschied in der Veränderung der Richtung des einen der Ströme besteht, so wird sich die Anziehungskraft im letzteren Fall genau als gleich der Abstoßüngskraft im ersteren ergeben. Von welcher Art auch die Wirkung eines Systemes feststehender Leiter auf einen beweglichen sein wird, so verändert sie sich im Allgemeinen sogleich in eine gleiche und entgegengesetzte Wirksamkeit, vermittelst der Umkehrung der Richtung des Stromes entweder durch die beweglichen oder befestigten Theile des Systemes. Wird die Richtung des Stromes durch beide Theile zu gleicher Zeit umgekehrt, so entsteht wieder die ursprüngliche Wirksamkeit. Auf diese Weise erhalten wir ein Unterscheidungsmittel, wodurch wir die gegenseitigen Wirkungen verschiedener Theile einer elektrodynamischen Vorrichtung von denjenigen sondern können, die von dem Einfluß der Erde abhängig sind. Die

ersteren Wirkungen sind bleibend, der Charakter der letzteren aber ändert sich durch Umkehrung der Richtung in dem ganzen System.

192. Es ist kaum nothwendig, daß wir in eine genaue Beschreibung der Vorrichtung eingehen, wodurch sich diese Schlüsse versuchsweise erproben lassen. Die Aufhängungsweisen, an den besonderen Zweck des Versuches angepaßt, werden einem Jeden sich darbieten, der mit den Einzelnheiten bekannt ist, welche wir schon über entsprechende Versuche gegeben haben. Im Allgemeinen mag hier noch bemerkt werden, daß es zwei Arten Umdrehungen gibt, für welche die beweglichen Theile der Vorrichtung empfänglich sind, die eine in scheitelrechter Achse, wie Fig. 66, 71, 84, 91, 92, 93, die andere aber in horizontaler Achse, wie Fig. 85 u. 96.

193. Man hat sorgfältig in genauen Versuchen darauf zu sehen, daß man sich vor dem Einfluß sichert, den die Erde auf die Wirkungen, die wir untersuchen, üben könnte. Diese störende Kraft läßt sich im Allgemeinen neutralisiren und unwirksam durch die Stellung der Leitungsdrähte machen. So läßt sich der bewegliche Leiter Fig. 92 astatisch oder unabhängig von dem Einfluß der Erde machen, indem man ein zweites Parallelogramm unter den ersten bildet, welches aus so gewendeten Drähten besteht, daß es den Strom zwingt, in entgegengesetzten Richtungen im entsprechenden Theile eines jeden zu gehen. Dies ist in Fig. 105 gezeigt, worin P und

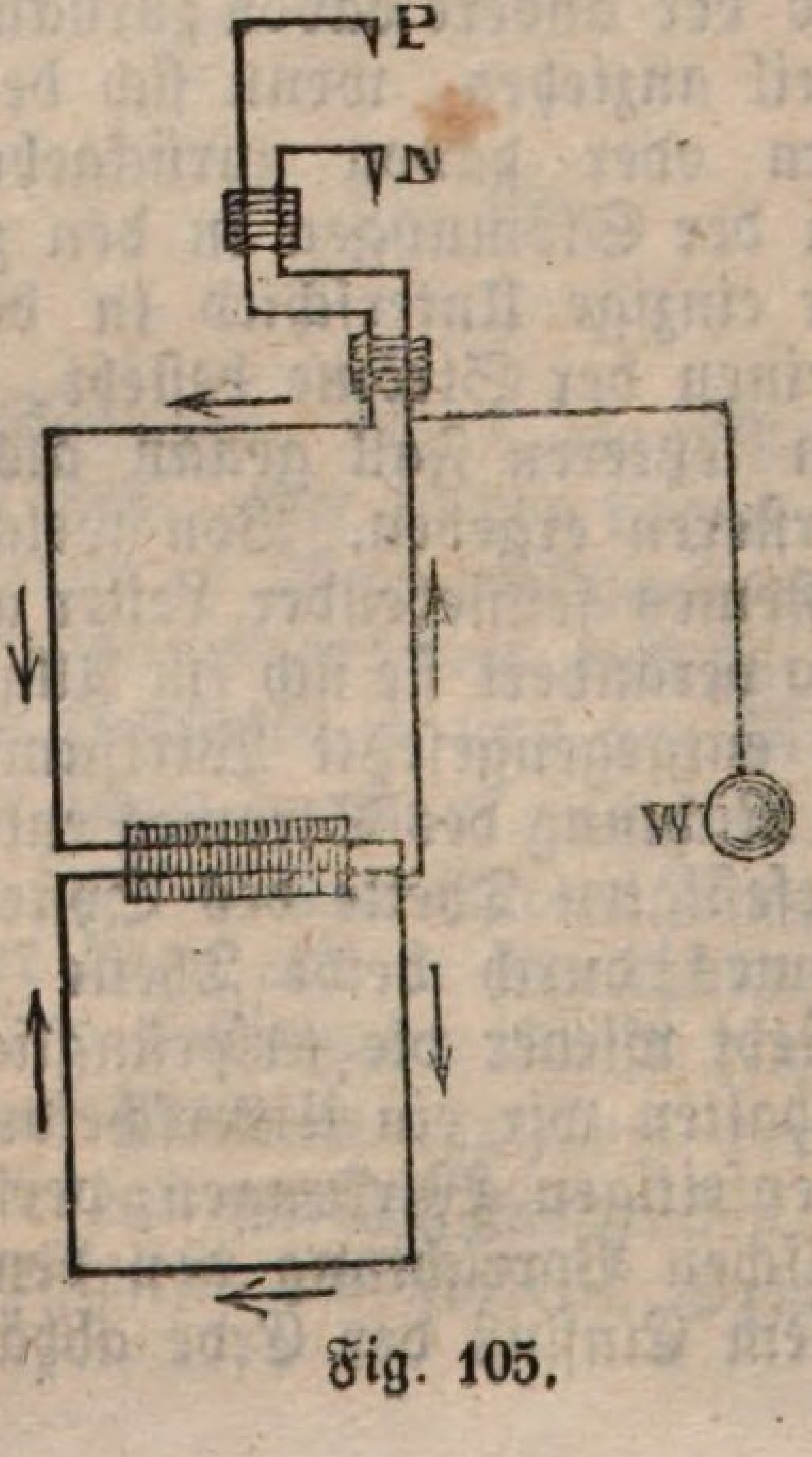


Fig. 105.

N die Stahlspitzen darstellen, welche an die Enden der Drähte befestigt sind, um in die Schalen mit Quecksilber gestellt zu werden; die Richtungen der Ströme in den verschiedenen Theilen des Drahtes sind durch Pfeile angezeigt. Dadurch ergibt es sich, daß die Wirkung der Erde auf irgend einen Theil durch deren gleiche und entgegengesetzte Wirkung in einem andern entsprechenden Theil neutralisirt wird, welcher in Bezug auf die Umdrehungsachse eine ähnliche Lage hat. Die Drähte sind mit Seidenfäden zu bedecken, um metallische Berührung in den Theilen zu verhindern, wo sie zusammengebracht werden. Die schattirten Theile stellen die Zweige dar, welche der Bequemlichkeit wegen zusammengebunden oder zusammengeflochten werden können, nachdem diese Vorsicht getroffen ist; damit die Festigkeit größer sei, wird das Gewicht W an die andere Seite der Umdrehungsachse angeheftet.

194. Figur 106 stellt eine andere Form eines astatischen Leiters vor, welcher dieselben Eigenschaften wie der vorhergehende hat, der aber zur Untersuchung der Wirkungen des unteren Horizontalzweiges besser geeignet ist.

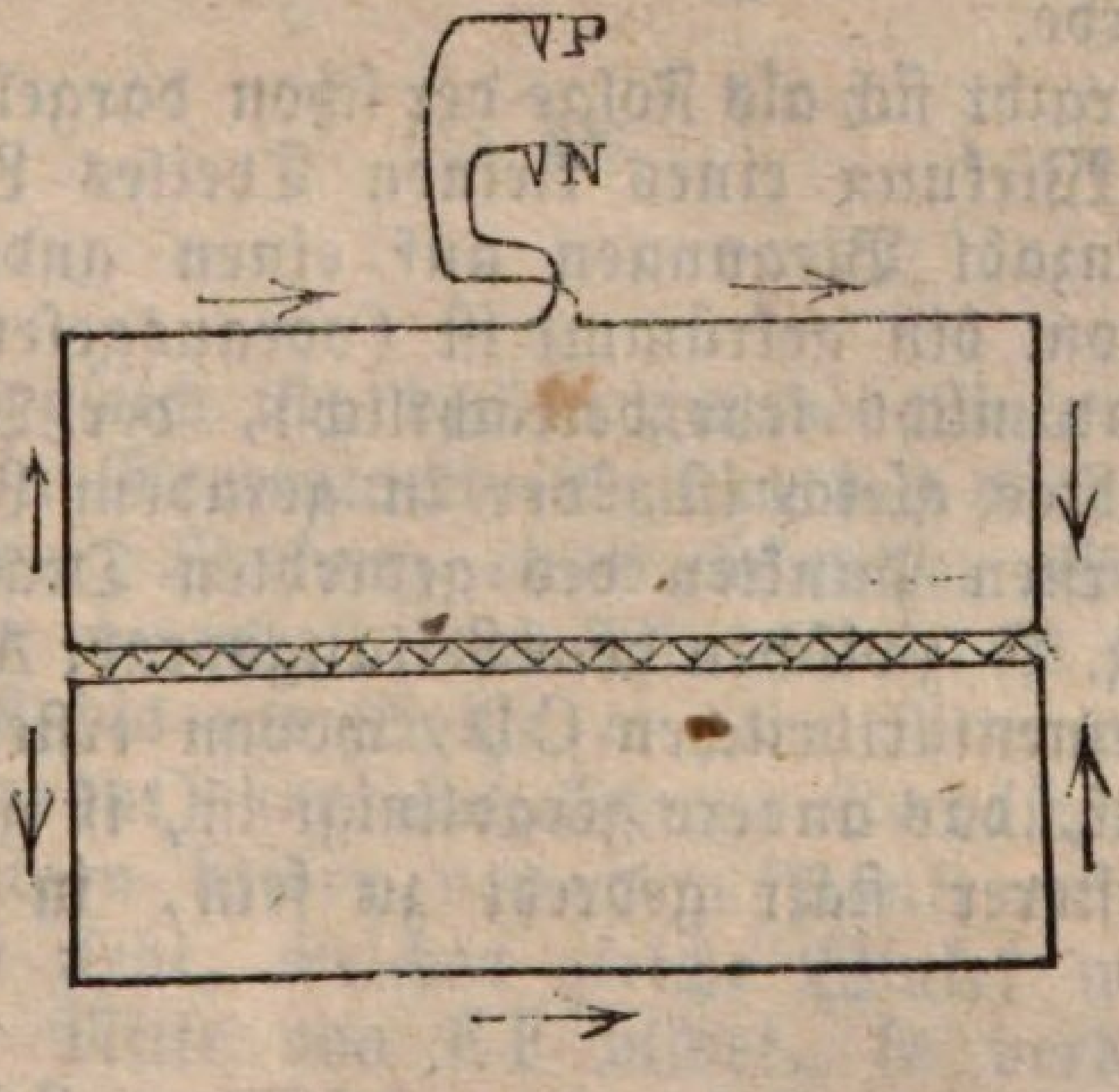


Fig. 106.

195. Figur 107 zeigt eine Vorrichtung ähnlicher Art, worin die Horizontalzweige einander neutralisiren, worin aber die inneren scheitelrechten Zweige, die in der Achse der Bewegung liegen, keinen Einfluß auf Erzeugung der Um-

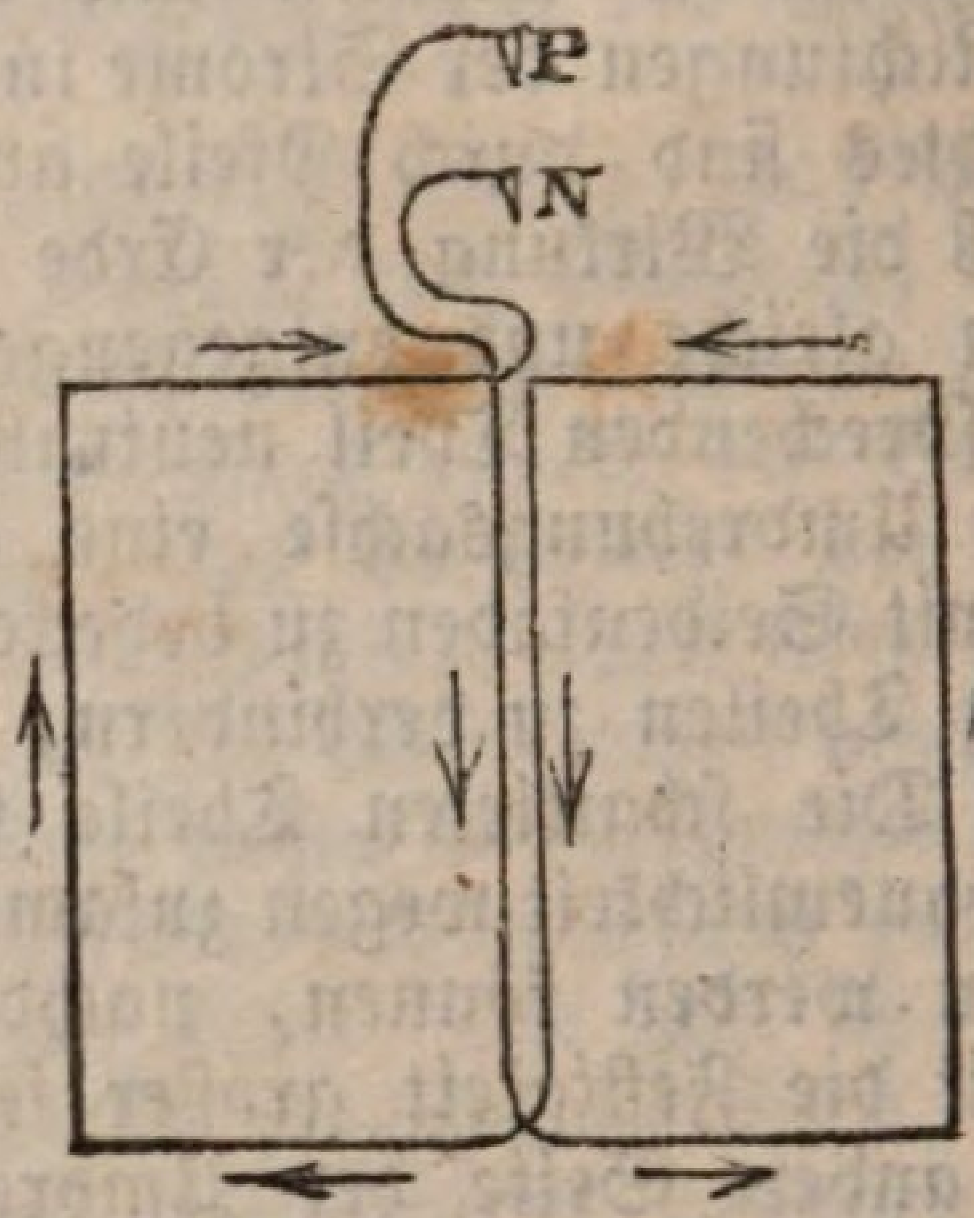


Fig. 107.

drehung haben; die äußeren scheitelrechten Zweige haben deßhalb keine Ausgleichung in Bezug auf irgend einen ihnen gebotenen Strom; obgleich sie auf entgegengesetzten Seiten der Achse liegen, neutralisiren sie einander in Bezug auf den Einfluß der Erde.

196. Es ergibt sich als Folge der schon dargelegten Grundsätze, daß die Wirkung eines kleinen Theiles Leitungsdraht, der in eine Anzahl Biegungen auf einen andern irgendwo gelegenen Strom hin gekrümmt ist (vorausgesetzt jedoch, die Biegungen sind nicht sehr beträchtlich), der Wirkung eines ähnlichen Drahtes gleich ist, der in geradem Laufe zwischen den zwei äußersten Punkten des gedrehten Drahtes fortgeht. Die Wirkung z. B zwischen dem Leitungsdraht AB, Fig. 108, und einem Elementartheilchen CD, wovon ersterer einen gewundenen Lauf, das andere geradlinigt ist, ist genau dieselbe, als würde ersterer statt gedreht zu sein, in gerader Linie

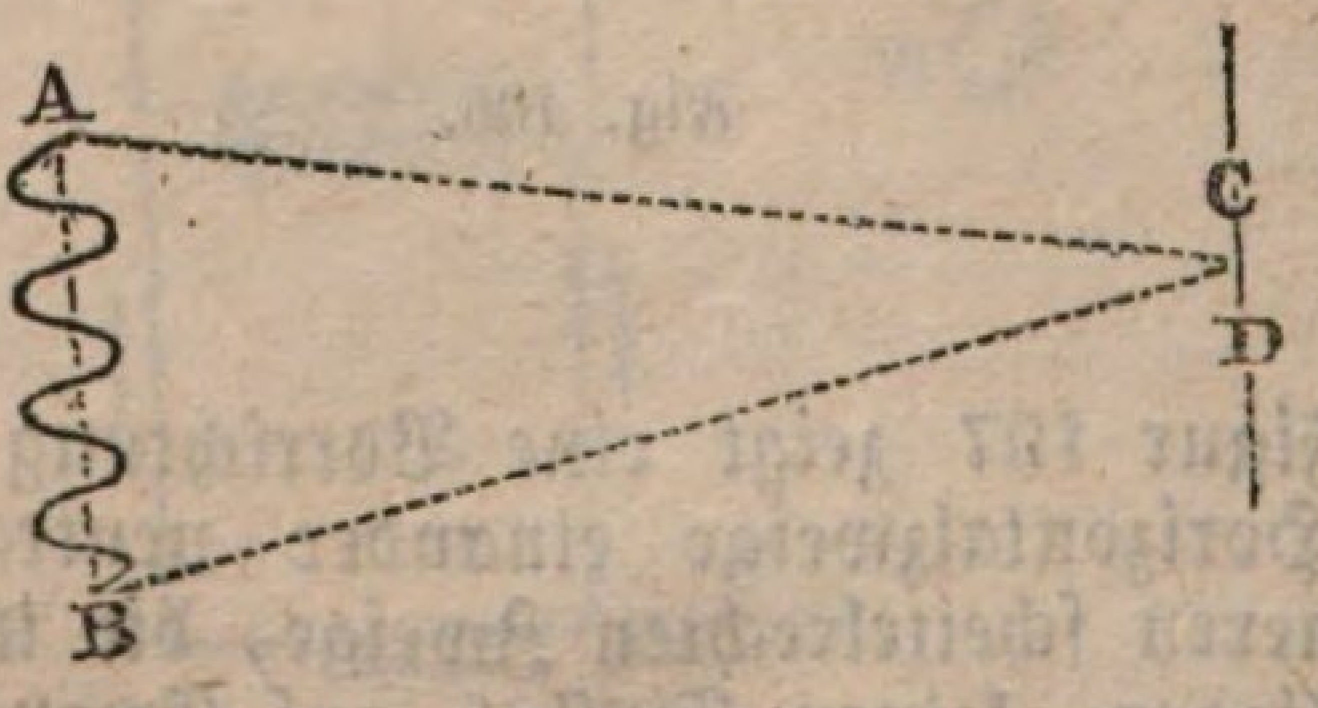


Fig. 108.

vom Punkt A nach B gerichtet, d. h. die punktirte Linie AB entlang.

197. Durch Ausdehnung der Folgerungen, die zu diesem Schlusse leiten, läßt es sich beweisen, daß die Wirkung eines Stromes, welcher die gedrehte Linie AB, Fig. 109, durchzieht (wovon wir gesehen haben, daß er einem Strom von

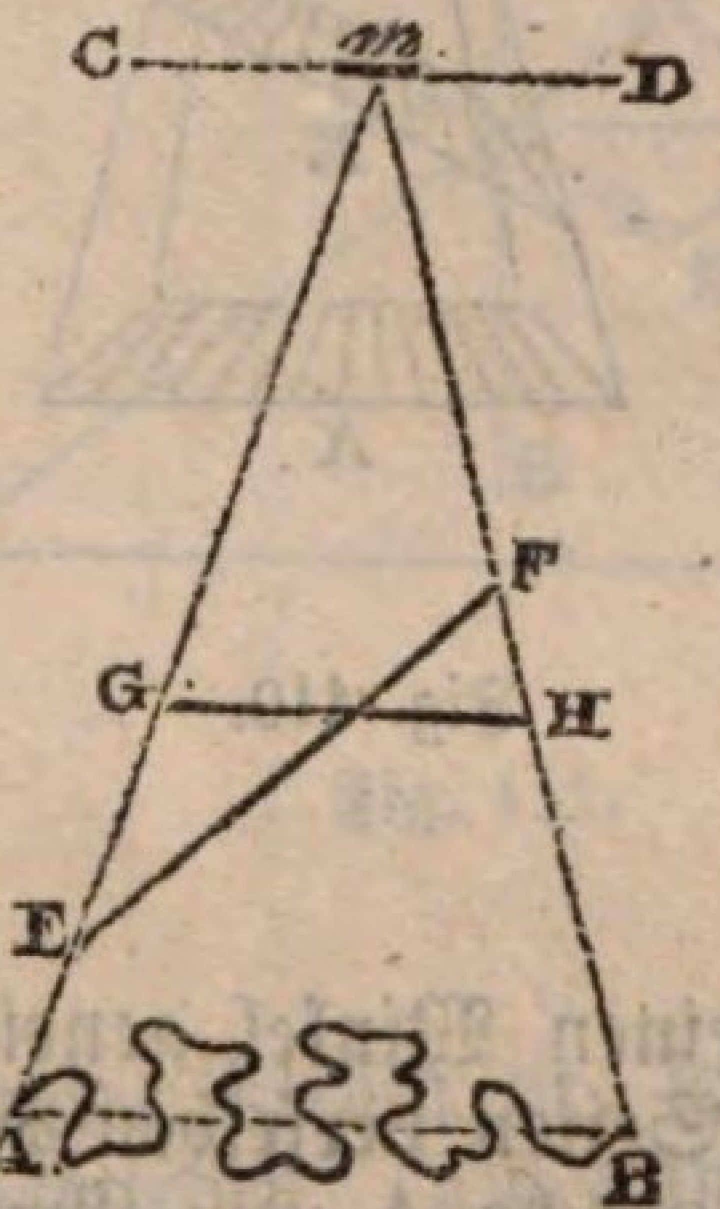


Fig. 109.

gleicher Stärke gleich ist, der in gerader Linie von A nach B geht), auf ein Elementartheilchen m des entfernten Stromes CD zu der Wirkung eines ähnlichen Stromes EF (welcher Strom innerhalb des Winkels AmB begriffen ist, der sich von AB bis zur Spitze m, der Mitte des Elementarstromes ausdehnt) im umgekehrten Verhältniß der mittleren Entfernungen beider von dem Punkt m steht, d. h. wenn man GH zieht, welches gleiche Winkel mit Am und Bm, durch die Mitte von EF bildet, so verhält sich die Wirkung von AB zur Wirkung von EF umgekehrt, wie Am zu Gm.

198. Denkt man sich die elektrischen Ströme als über eine gegebene Oberfläche A, Fig. 110, verbreitet, statt daß sie auf eine einzige Linie beschränkt sind, so wird die Wirkung dieser oberflächlichen Schicht von Strömungen auf den Elementarstrom m, welcher ein Theil des Stromes CD ist, dem von B oder E oder einer anderen oberflächlichen Schicht genau gleich sein, die in irgend einer Entfernung von m

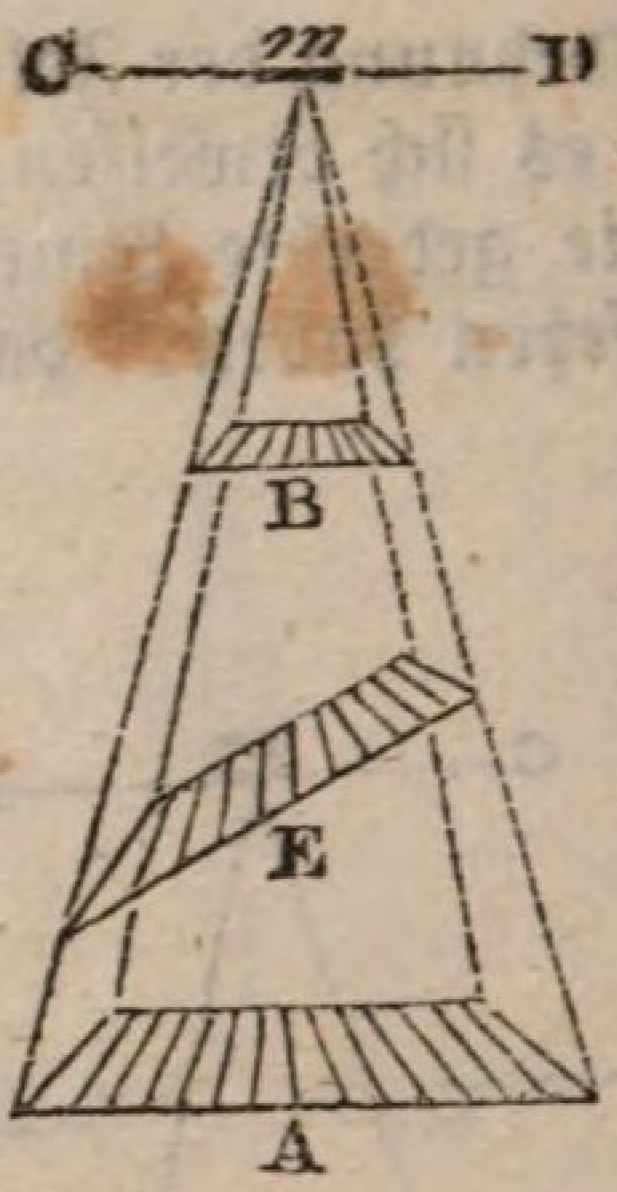


Fig. 110.

liegt und in irgend einen Winkel geneigt ist, vorausgesetzt, dieselbe wird in den Seiten derselben Pyramidal- oder Kegelfigur eingeschlossen, welche A zur Grundlage und m zum Gipfel hat. Dies ergibt sich als nothwendige Folge des vorhergehenden Gesetzes; der verminderte Einfluß der Strömungen in A, welcher aus ihrer größeren Entfernung sich ergibt, wird durch deren größere Zahl ausgeglichen. Dies läßt sich noch unmittelbarer aus dem allgemeinen Gesetz der Wirkungen elektrischer Strömungen herleiten, wornach sie in umgekehrtem Verhältniß zu den Quadraten der Entfernung stehen. Wir werden nachher Gelegenheit haben, eine wichtige Anwendung dieses Grundsatzes zu machen.

Wirkungen begrenzter Strömungen.

199. Wir haben gesehen, daß die Wirkungen eines geradlinigten Stromes unbegrenzter Länge auf einen kurzen Theil eines Stromes in einiger Entfernung, der in derselben Ebene und gänzlich auf einer Seite des früheren liegt, dahin strebt, ihm Bewegung in senkrechter Linie zu sich selbst zu ertheilen, und zwar in derselben Richtung, wie der ausgedehnte Strom, oder in der entgegengesetzten Richtung, je n er zurückgeht oder sich nähert; dasselbe läßt sich auf m von irgend einer Länge anwenden, vorauslbe liegt gänzlich auf einer Seite des Stromes,

der darauf einwirkt; es wird bequem sein, letzteren mit dem Namen begrenzter (beschränkter) Strom zu bezeichnen. So wird der Strom AB, Fig. 111, welcher gänzlich auf einer Seite des ausgedehnten Stromes CD liegt, und welcher

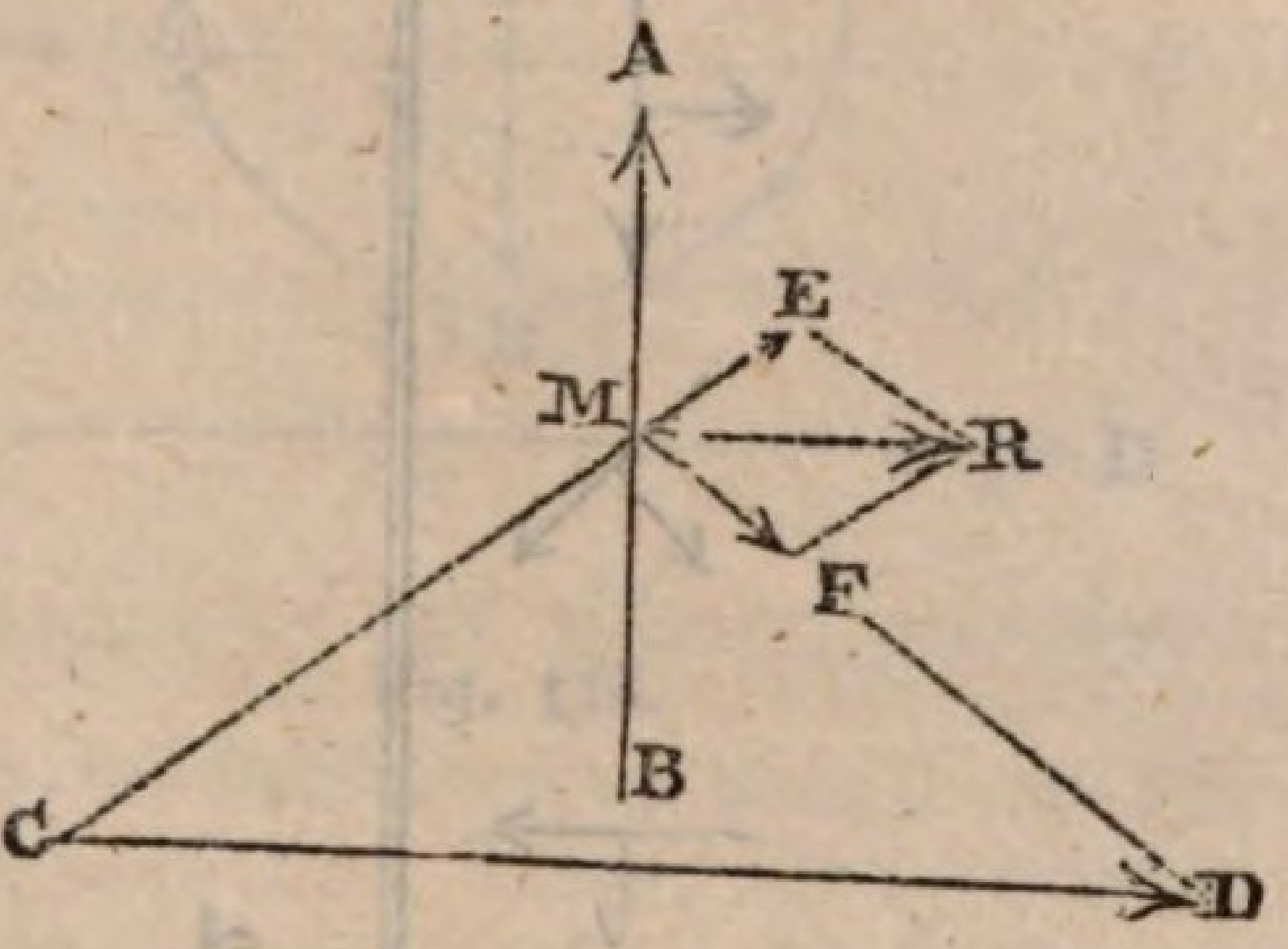


Fig. 111.

deßhalb ein begrenzter Strom ist, in der Richtung der punktirten Linie MR getrieben. Da nämlich der Strom AB sich von der Winkelspitze B nach A bewegt, während der Strom CD im Theile CB sich nach B bewegt, so wird der erste durch den letzten während dieses ganzen Theiles seines Laufes abgestoßen. Die Resultante aller abstoßenden Kräfte, welche so auf A einwirken, läßt sich durch die Linie ME darstellen. Dagegen bewegen sich die Ströme, welche die Linien AB und BD entlang gehen, beide in einer Richtung von dem Punkt B weg; folglich ziehen sie sich einander an, und die Resultante dieser anziehenden Kräfte läßt sich durch die Linie MF ausdrücken, welche zusammen mit ME die Totalresultante MR gibt, welche senkrecht zu AB steht.

200. Wendet man diesen Grundsatz auf verschiedene Lagen eines begrenzten Stromes in Beziehung auf einen ausgedehnten an, so erhalten wir Ergebnisse, welche Fig. 112 ausdrückt, wo CD wie zuvor der ausgedehnte Strom ist, welcher von C nach D geht; die oberen Linien zeigen verschiedene Lagen begrenzter Ströme, deren Richtungen durch die Pfeile an den Enden bezeichnet sind, während die punktirten Pfeile die Richtungen der sich ergebenden Bewegungen ausdrücken. Als allgemeine Regel läßt sich diejenige aufstellen, nach welcher ein begrenzter Strom, wenn seine Richtung von der Linie des ausgedehnten Stroms weg ist, zur

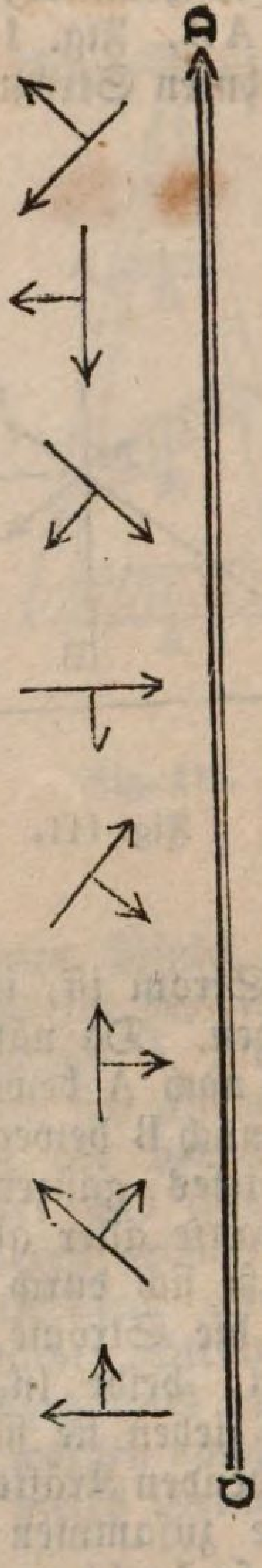


Fig. 112.

selben Richtung getrieben wird, worin sich der ausgedehnte Strom bewegt; wenn sein Strom sich nach dem ausgedehnten Strom hin bewegt, so wird er in entgegengesetzte Richtung getrieben.

201. Wenn man statt dem Leitungsdraht, welcher den begrenzten Strom überliefert, zu gestatten, daß er seiner Neigung, sich parallel mit sich selbst zu bewegen gehorcht, seine Bewegungen auf die Umdrehung um eine feste Achse auf einem seiner Ende beschränkt, wie Fig. 113 zeigt, so wird die Kraft, die aus der Wirkung des unbegrenzten Stromes CD entsteht, dem begrenzten Strom in dem ganzen

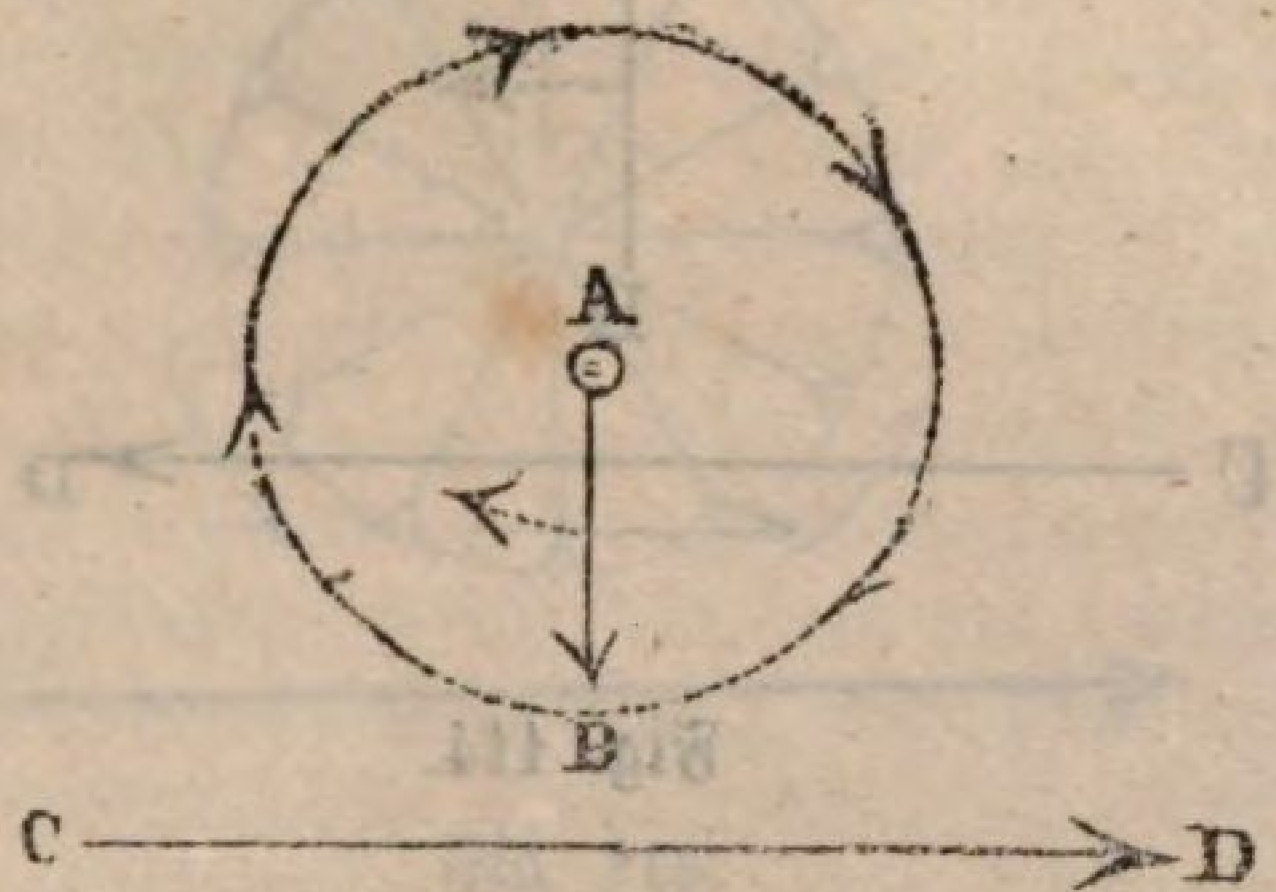


Fig. 113.

Umfang des Kreises umtreiben. Diese Umdrehungskraft ist vom Winkel der Neigung der Strömungen unabhängig und ist folglich in jeder Stellung von AB gleichförmig; sie wird somit als eine beschleunigende Kraft wirken, indem sie den Draht mit stets wachsender Geschwindigkeit umdreht, bis derselbe durch Reibung und andere mechanische Hindernisse aufgehalten wird.

202. Die Richtung, worin der Draht sich umdreht, hängt natürlich von dem Verhältniß zwischen den Richtungen der zwei betheiligten Strömungen ab. Wenn der begrenzte Draht von dem Mittelpunkt zum Umfang in dem kurzen Draht übergeht, so wird seine Umdrehung diejenige sein, wie sie die Figur darstellt, d. h. in einer Richtung, welche der des unbegrenzten Stromes in demjenigen Theil des Kreises, welcher ihm am nächsten liegt, entgegengesetzt, aber der Richtung in dem entfernteren Theil des Kreises gleich ist. Das Gegentheil findet statt, wenn der Strom AB vom Umfang zum Mittelpunkt geht.

203. Während dies die Wirkung des ausgedehnten Stromes auf den begrenzten ist, so zeigt sich nothwendig eine gleiche, aber entgegengesetzte Rückwirkung von dem begrenzten Strom auf den ausgedehnten. Z. B. während der Strom AB, Fig. 114, sich in der Richtung des oberen Pfeils zu bewegen strebt, so treibt seine gegenseitige Wirkung auf den Strom CD den Draht, der ihn leitet, in der entgegengesetzten Richtung von D nach C, wie der untere Pfeil zeigt. Derselbe Grundsatz gilt von allen andern Fällen.

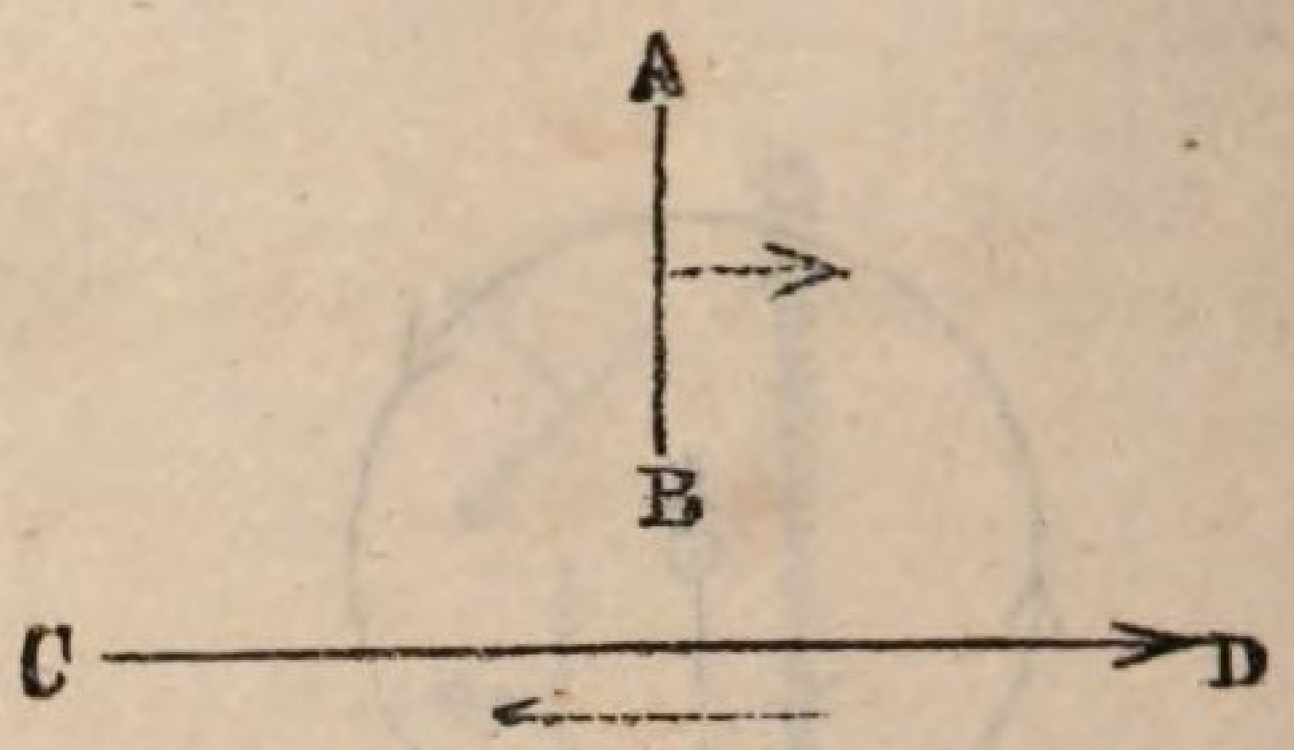


Fig. 114.

Wirkung auseinandergehender und zusammenlaufender Ströme.

204. Da die Drehungskraft dieselbe in allen Lagen ist, so erhellt daraus, daß Drähte und andere leitende Körper, wenn man sie so stellt, daß sie von einem Mittelpunkt wie Strahlen nach allen Richtungen ausgehen, dahin streben, sich in derselben Weise umzudrehen, wie sich jeder von ihnen einzeln durch den Einfluß eines geradlinigten Stromes in der Nähe und in derselben Ebene umgedreht haben würde; vorausgesetzt, dieser letztere Strom liegt gänzlich außerhalb des Umfangs des Umdrehungskreises. Dasselbe wird sich ereignen, wenn die Ströme vom Umfang aus nach dem Mittelpunkt zusammenlaufen; nur die Richtung der Bewegung wird die umgekehrte sein. Diese zwei Zustände des Versuches sind Fig. 115 und 116 dargestellt, wo die Pfeilspitzen auf dem Wege der Ströme ihre Richtung anzeigen und die äußeren punktirten Pfeile die Richtung der Umdrehung der Leiter.

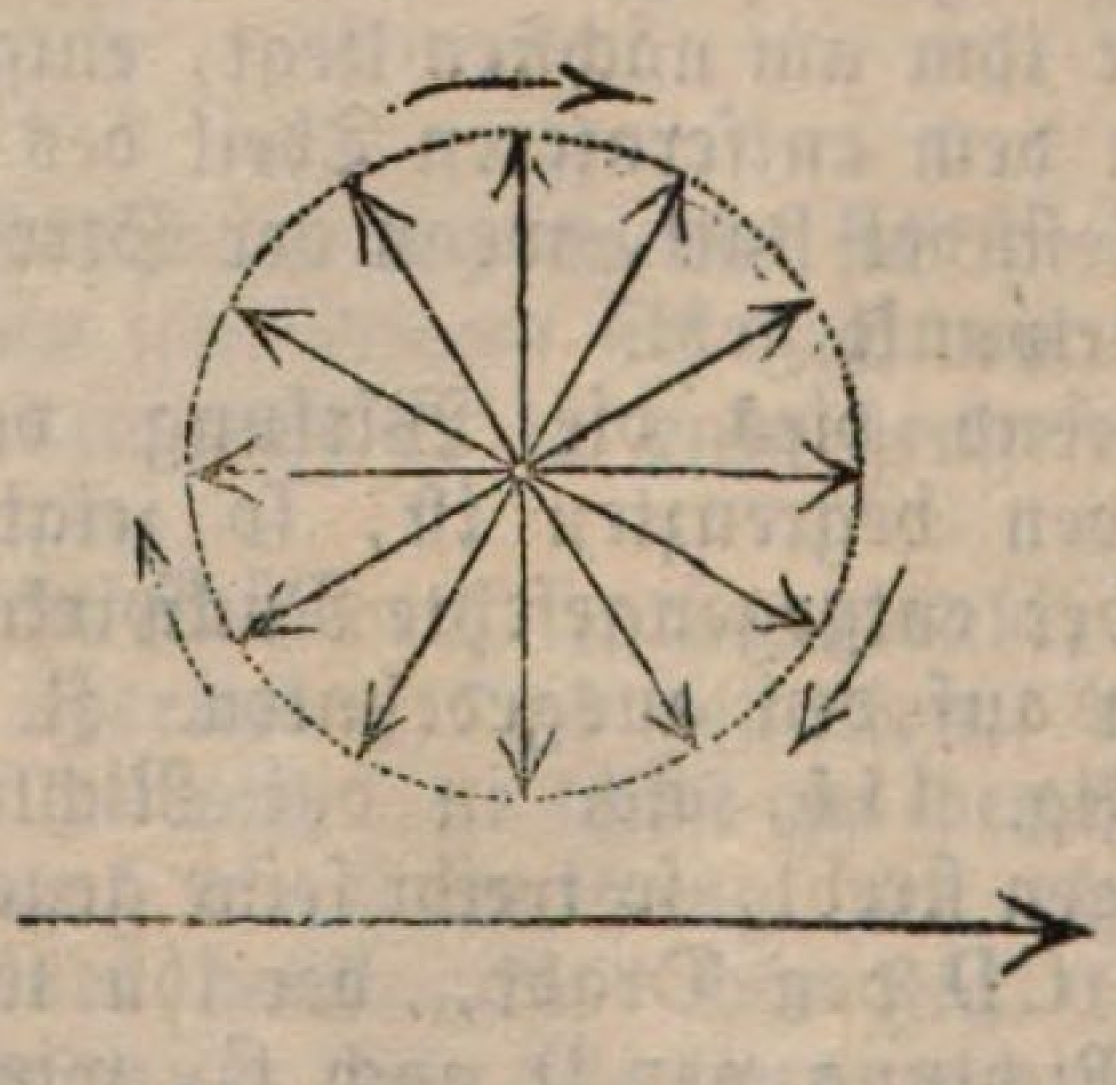


Fig. 115.

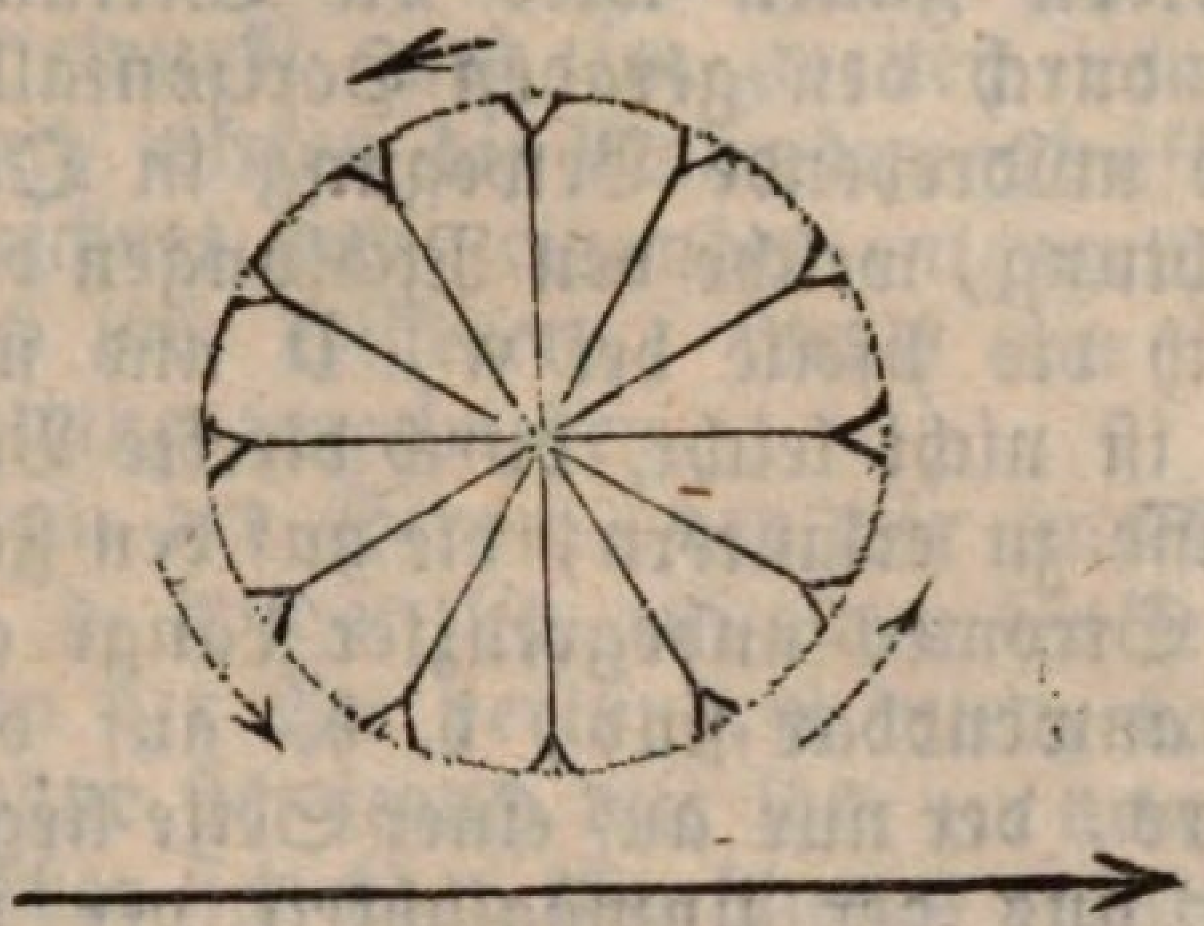


Fig. 116.

205. Beispiele dieser Art des Auseinandergehens und Zusammenlaufens von Strömungen kommen häufig in elektrodynamischen Versuchen vor. Man findet sie stets, wenn ein flüssiger Leiter, z. B. Quecksilber, das Verbindungsmittel zwischen der Spitze eines in die Flüssigkeit eingetauchten Leitungsdrahtes und einem runden Reif von Metall ist; alsdann findet sich immer eine größere oder geringere Zerstreuung der Strömungen, während sie durch die Flüssigkeit gehen, und meist ist die Ausstrahlung oder die Vereinigung der Ströme im Mittelpunkt ziemlich regelmäßig, wovon man sich eine Vorstellung nach Figur 117 bilden kann, wo der Strom, welcher von P nach N durch das Quecksilber im Cylindergefäß V geht, sich von der Spitze des Drahtes nach jedem Theil des Umfangs dieses Gefäßes ausdehnt. Geht der Strom von N nach P, so wird er nach dem Draht hin zusammen-

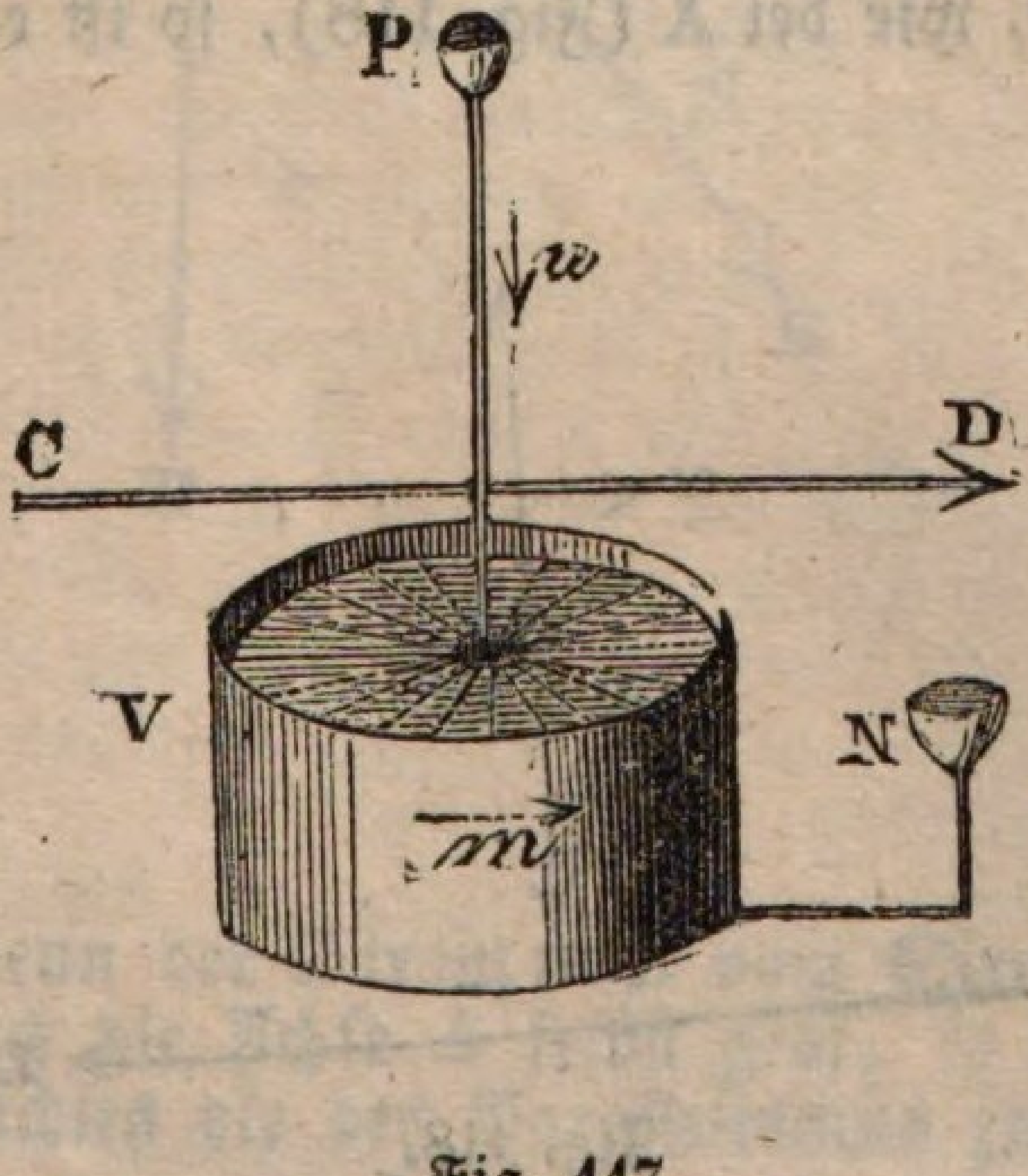


Fig. 117.

laufen. In beiden Fällen wird die Wirkung eines starken Stromes, der durch den geraden Horizontalleiter CD hindurchgeht, eine umdrehende Bewegung in Quecksilber erzeugen, deren Richtung, welche den Richtungen der zwei Ströme entspricht, durch die Pfeile bei w, D und m angezeigt ist.

206. Es ist nicht leicht, durch direkte Versuche die theoretischen Schlüsse zu erläutern, die auf den Fall der Wirkung eines geraden Stromes unbegrenzter Länge auf einen beendigten Strom anwendbar sind, d. h. auf den Theil eines andern Stromes, der nur auf einer Seite liegt. Die Schwierigkeit entsteht aus der Unmöglichkeit der Wirkungen auf diejenigen Theile der Strömungen zu beschränkeu, worauf wir sie zu beschränken wünschen, während wir ihre Wirkungen erforschen, und die Wirksamkeit der übrig bleibenden Theile der Ströme auszuschließen, welche für die Vervollständigung der Kette nothwendig sind. Die einzige Art, die Einmischung der letzteren zu verhindern, besteht darin, daß man sie neutralisirt, indem man den einen dem andern entgegensetzt; dies läßt sich in großem Maße ausführen, indem man für die Unterabtheilung und Verzweigung der Ströme in verschiedener Richtung sorgt, so daß ihre Wirkungen einander aufheben. Wenn man z. B. die Enden des kleineren Drahtes, der beweglich gemacht werden soll, in ein Geschirr mit Quecksilber von genügender Weite eintaucht, um den elektrischen Strömen zu erlauben, daß sie auseinander gehen und sich über eine beträchtliche Oberfläche ausdehnen, so werden sie sich nicht in die Wirkungen, die wir untersuchen, einmischen.

207. In den Fällen, die wir soeben betrachtet haben, (204) nahmen wir die Umdrehungsachse im kürzeren Drahte am Ende an; ist ihre Lage verschieden, liegt sie z. B. in der Mitte der Länge, wie bei X (Fig. 118), so ist es klar, daß der

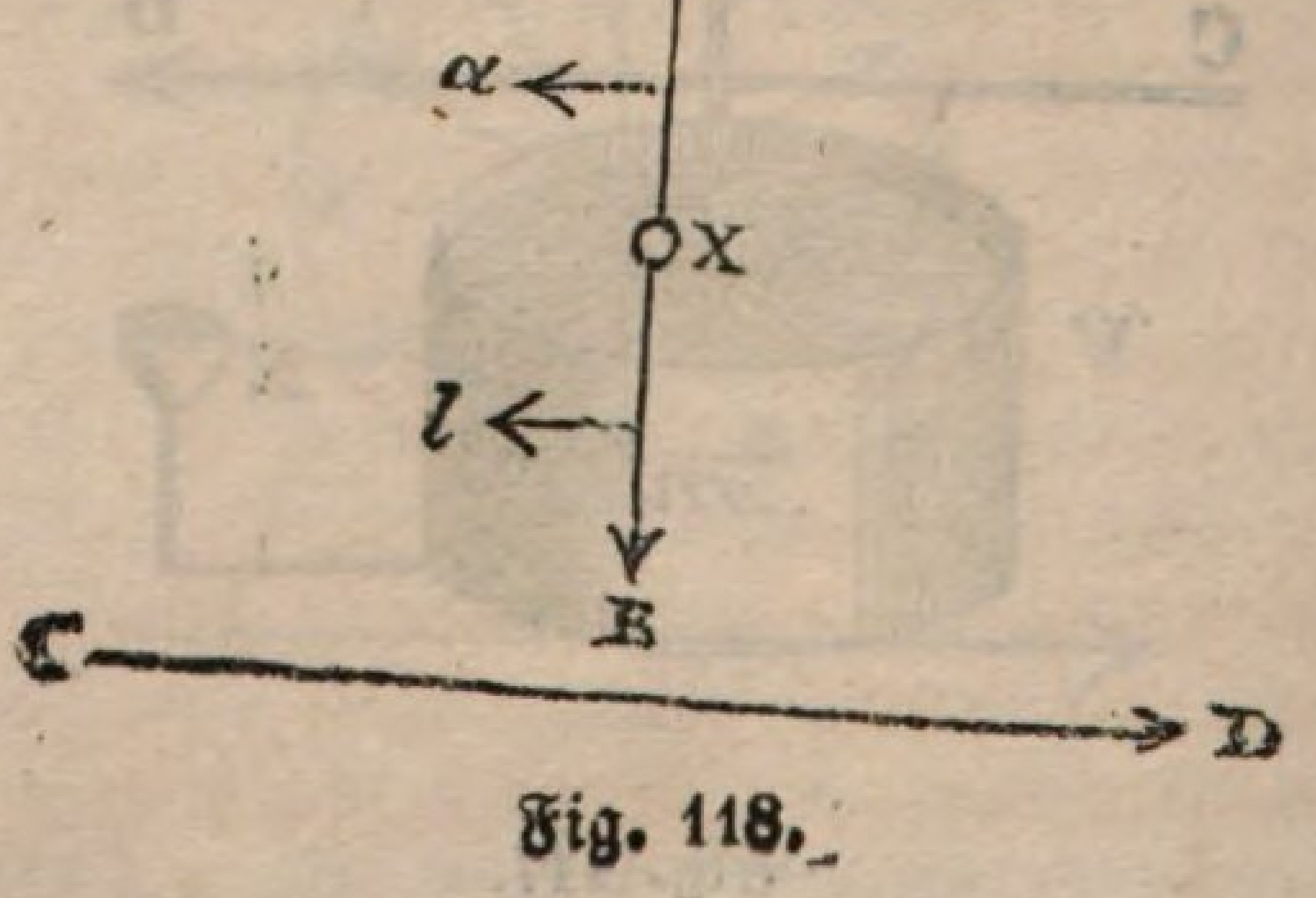


Fig. 118.

Strom, wenn er von A nach B geht, sich im ersten Theil nach dem Mittelpunkt, und im zweiten von demselben weg bewegt; deßhalb wirken die Umdrehungskräfte, die durch die Pfeile a b bezeichnet sind, einander entgegen und der Draht wird nur durch ihre Differenz, wenn eine solche vorhanden ist, zur Umdrehung angetrieben.

208. Wenn der Strom, den wir uns bis jetzt begrenzt gedacht haben, d. h. gänzlich auf einer Seite des geradlinigten Stromes in der Art verlängert wird, daß er den letzteren kreuzt, ohne sich jedoch mit ihm zu vereinigen, so wird der Theil, welcher sich über ihn hinaus dehnt, eine Neigung haben, sich in entgegengesetzter Richtung zum Theil der andern Seite zu bewegen, so daß diese Umdrehungskräfte sich einander entgegensetzen würden; da der stärkste vorherrschen würde, so würde er den Leiter in eine Lage bringen, wo sie im Gleichgewicht sind.

Man sehe Figur 119, wo der Theil f B des begrenzten geradlinigen Stromes A B, welcher sich auf der Achse A dreht und einen unbegrenzten Strom C D durchkreuzt, sich in der entgegengesetzten Richtung von A f zu bewegen strebt, indem die Lage des Gleichgewichtes A E ist.

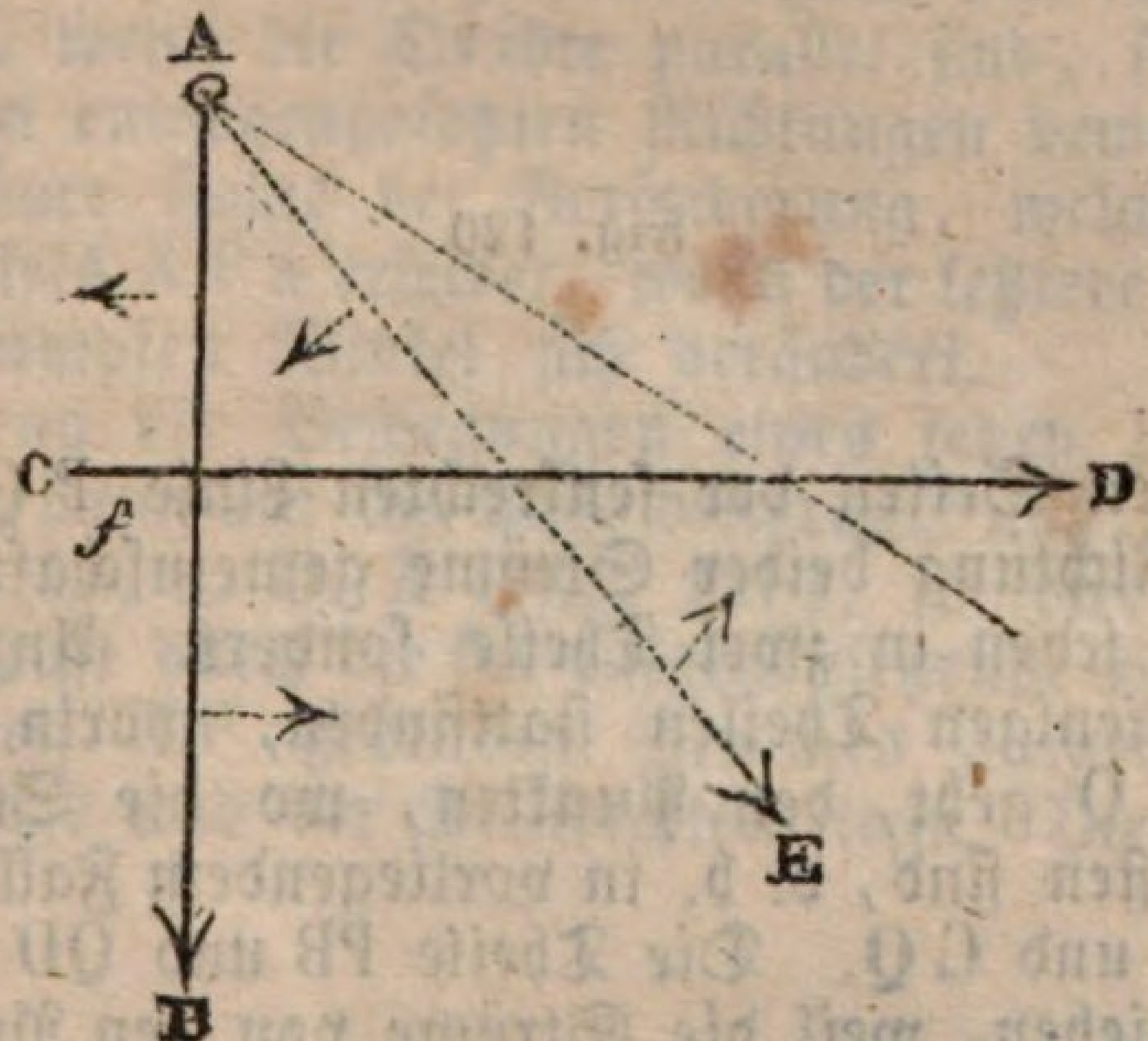


Fig. 119.

209. Wenn der Strom A B vom Strom C D gekreuzt wird, der durch die Achse A selbst geht, so ist die Stellung des Gleichgewichtes die des Parallelismus zwischen den zwei

Drähten. In beiden Fällen kann keine Umdrehung um die Achse stattfinden.

Wirkungen zweier Ströme, die in verschiedenen Flächen liegen.

210. Betrachten wir jetzt, was sich ereignen wird, wenn die beiden Ströme A B C D (Fig. 120) in verschiedenen Flächen liegen, indem beide von unbegrenzter Länge sind, und

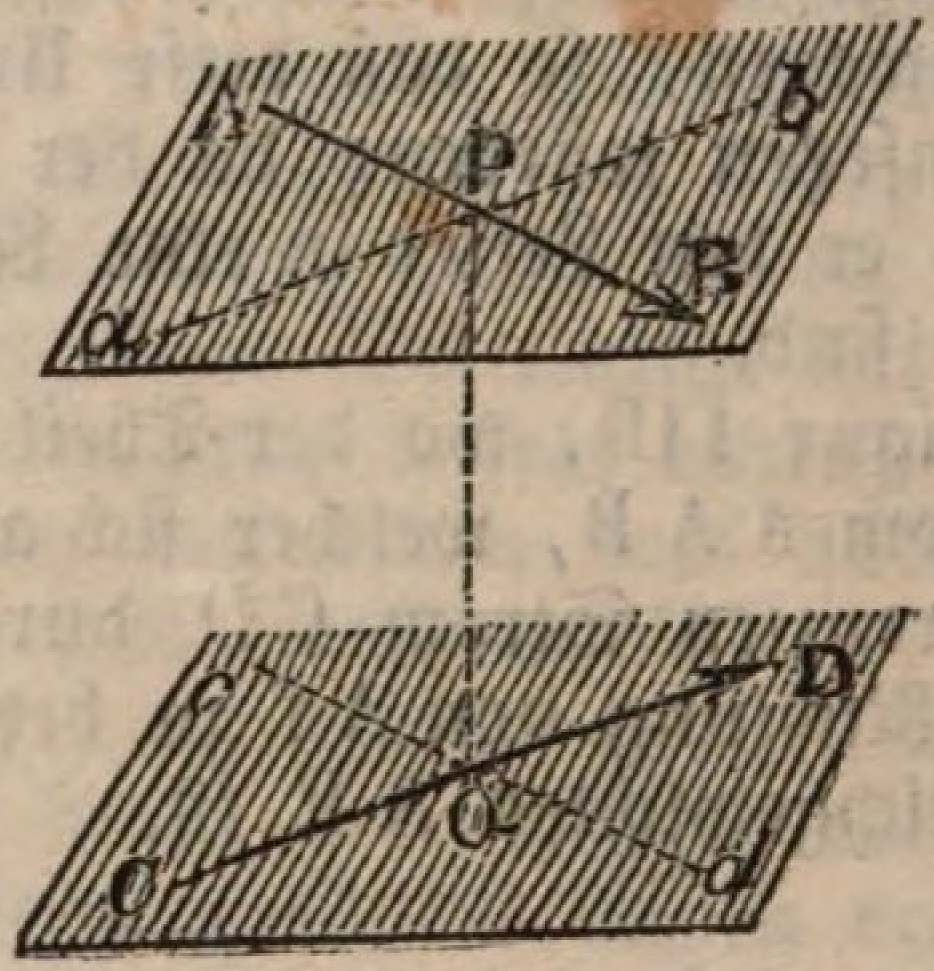


Fig. 120.

sich auf beiden Seiten der senkrechten Linie P Q ausdehnen, welche der Richtung beider Ströme gemeinschaftlich ist, und welche einen jeden in zwei Theile sondert. Anziehung wird zwischen denjenigen Theilen stattfinden, worin der Strom nach P oder Q geht, den Punkten, wo die Ströme einander am nächsten sind, d. h. in vorliegendem Fall zwischen den Theilen A P und C Q. Die Theile PB und QD werden auch einander anziehen, weil die Ströme von den Punkten P und Q ausgehen. Die Theile A P und Q D aber werden einander abstoßen, wie auch die Theile P B und C Q, weil die Strömungen sich in verschiedener Weise in den beiden bewegen, welche jedes dieser Paare bilden.

Alle diese Kräfte wirken zusammen, um eine drehende Bewegung um die Achse P Q zu erzeugen. Der Draht A B wird sich bestreben, die Stellung a b parallel mit C D anzunehmen, und der Draht C D wird angetrieben werden, die

Stellung cd parallel mit AB einzunehmen. Wenn nur einer derselben beweglich ist, so wird er sich in eine Parallellinie zum andern stellen; wenn beide beweglich sind, so werden beide eine mittlere Stellung einnehmen, so daß sie in beiden Fällen mit einander parallel werden. Derjenige Theil der Kraft, der die Umdrehungswirkung erzeugt, und in einer Ebene senkrecht zur Achse wirkt, läßt sich die Richtungskraft nennen, er wechselt wie der Sinus des Winkels APa; ein anderer Theil der Kraft aber ist bleibend, nämlich derjenige, welcher senkrecht zu dieser Ebene, d. h. parallel zur Linie PQ der nächsten Entfernung der Drähte wirkt. Es ist klar, daß diese Kraft, wie der Cosinus des Winkels APa wechselt. Wenn dieser Winkel kleiner ist, wie ein rechter Winkel, so ist die Kraft anziehend, und da sie dahin strebt, die Ströme einander näher zu bringen, läßt sie sich durch den Ausdruck Annäherungskraft bezeichnen. Indem diese letztere beginnt, wenn die Stellungen der Drähte aus der senkrechten Lage sich leicht auf einander hin geneigt haben, so erlangt sie ihren höchsten Grad, wenn dieselben durch die Richtungskraft in eine Parallelstellung gebracht sind. Wenn die entsprechenden Theile der Drähte andererseits einen stumpfen Winkel bilden, so ist die Annäherungskraft negativ und erreicht ihren höchsten Grad, wenn die Drähte parallel sind, so daß ihre Ströme sich in entgegengesetzten Richtungen bewegen. Dies ist eine offenbare Folge der Veränderung, welche der Cosinus des Winkels AP a erleidet, wenn der letztere von einem spitzen zum stumpfen Winkel sich verändert.

211. Wenn die Bewegungen eines jeden der Drähte auf eine Umdrehung um die Achse beschränkt sind, welche von PQ verschieden ist, z. B. X (Fig. 121), so wird ein Theil der Richtungskraft durch die sich entgegensetzende Wirkung des durch den Theil XP gehenden Stromes aufgehoben, der zwischen der Achse und der Senkrechten liegt. Dieser Gegen=

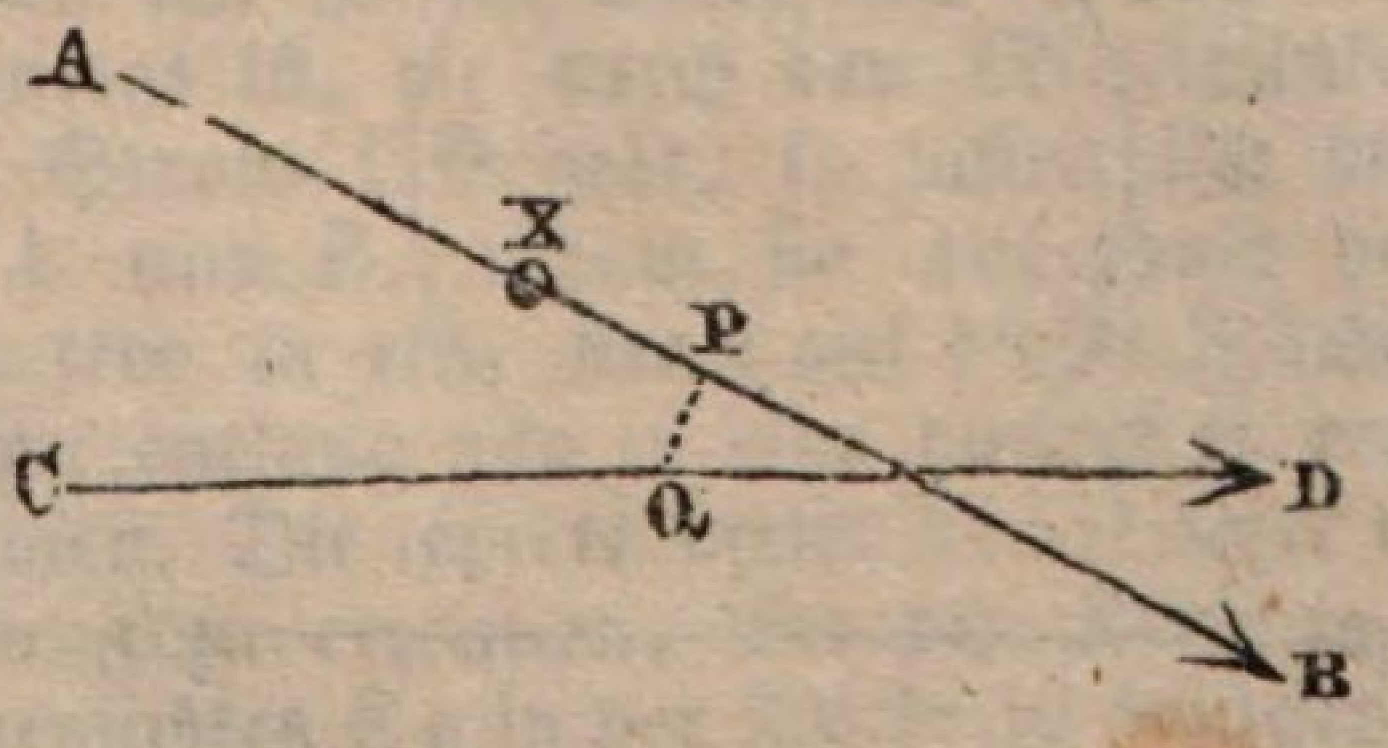


Fig. 121.

saß der Kräfte wird sich steigern, je nachdem die Achse weiter von der Senkrechten entfernt wird, so daß alle Wirkung zuletzt gänzlich neutralisirt wird, wenn die Entfernung genügend groß im Verhältniß der Länge des andern Zweigs des Stromes PB ist, der auf der andern Seite von PQ liegt. Schlägt man die sich ergebende Wirkung an, so muß man jedoch den mechanischen Vortheil mit in Rechnung bringen, den die Drehungskraft, welche den entfernteren Theil PB antreibt, über diejenige besitzt, welche XP antreibt, eine Folge, die sich aus der größeren Länge des Hebels, womit gewirkt wird, ergibt. Wenn die entgegengesetzten Umdrehungsmomente, die sich daraus ergeben, gleich sind, so werden die Strömungen in einer Lage des Gleichgewichts sich befinden, welche Lage dahin streben wird, um so näher mit der des Parallelismus zusammenfallen, im Verhältniß, wie die Achse sich dem Zusammenfallen mit der Senkrechten PQ nähert. Dies Ergebniß läßt sich darstellen, wenn man die Vorrichtung Fig. 106 gebraucht, welche, wie wir aus ihrem Bau gesehen haben, astatisch ist und durch die wir die Wirkung eines Querstromes auf einen jeden der horizontalen Zweige, auf die er gerichtet wird, untersuchen können.

Gegenseitige Wirkung geradlinigter und krummlinigter Strömungen.

212. Wenn ein begrenzter Strom, der eine krumme Linie beschreibt, der Wirkung eines geradlinigen Stromes ausgesetzt wird, so werden seine verschiedenen Theile in verschiedenen Richtungen getrieben, indem jeder zu seinem Theil der Curve senkrecht steht. So werden die verschiedenen Theile der kreisförmigen Leiter AB (Fig. 122) oder EF (Fig. 123),

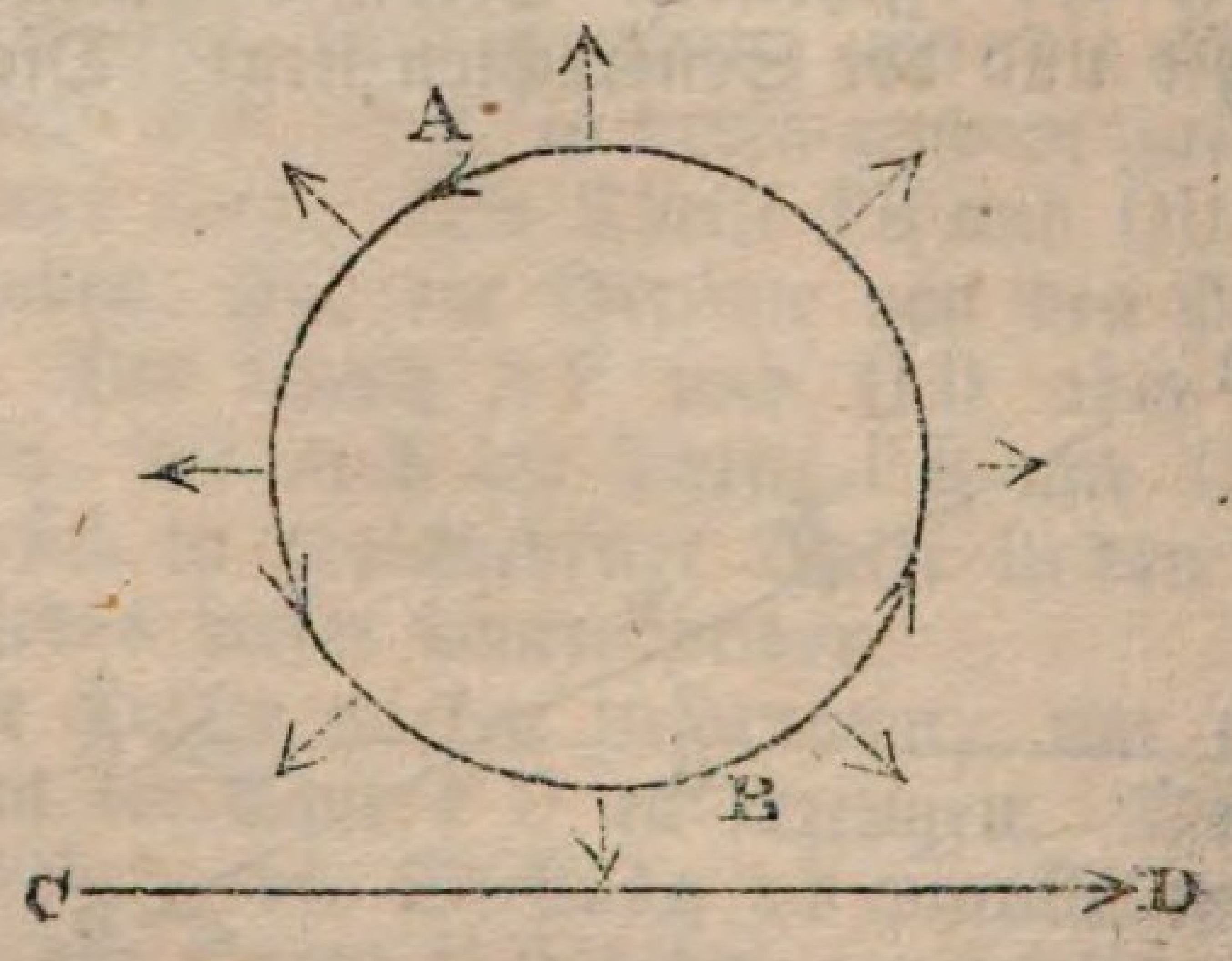


Fig. 122.

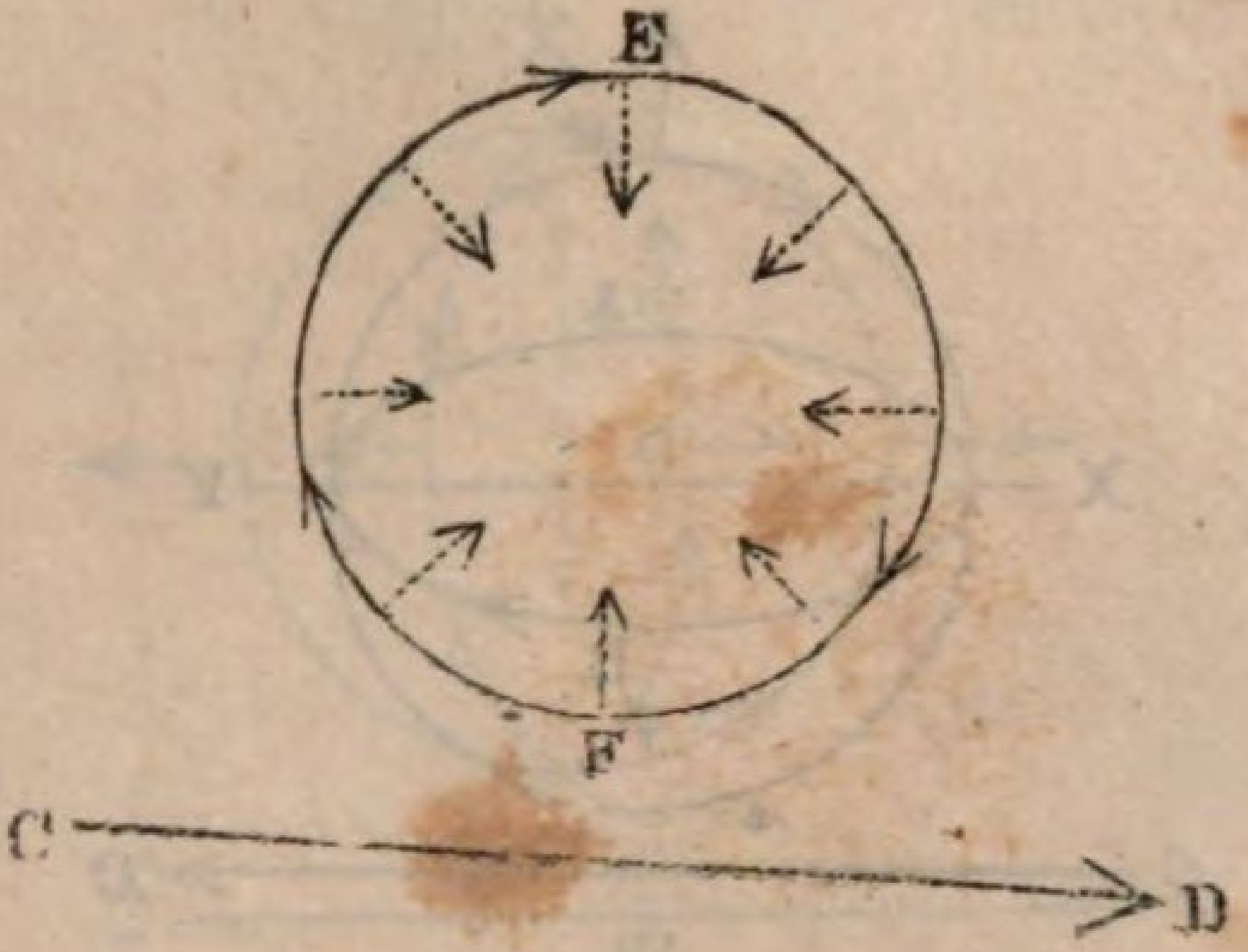


Fig. 123.

durch welche ein Strom Elektrizität hindurchgeht, durch den geraden Strom CD, der in derselben Fläche damit liegt, in den verschiedenen Richtungen getrieben, welche die punktirten Pfeile angeben. Sind diese Kräfte gleich, oder beinahe gleich, welches nur geschehen könnte, wenn CD sich in unendlicher Entfernung oder in einer unvergleichlich größeren, wie der Durchmesser des Kreises sich befände, so würden sie sämmtlich im Gleichgewicht stehen. In allen andern Fällen aber werden die Theile des Kreises, welche dem Strom am nächsten liegen, einen stärkeren Einfluß erleiden, wie die entfernteren Theile; die Kräfte, wodurch sie angetrieben werden, müssen deßhalb vorherrschen, und der ganze Kreis wird sich bestreben, sich CD zu nähern oder davon zurückzugehen, je nachdem die Richtung der Ströme in diesem Theile derjenigen des Stromes CD gleich oder entgegengesetzt ist. Somit scheint es, daß die Annäherungskraft der Differenz zwischen den Resultanten der Anziehungs- und Abstoßungskräfte gleich ist.

213. Läßt man den kreisrunden Leiter sich jetzt um die Achse XY Figur 124, die mit CD parallel ist, drehen, und dreht man ihn so auf dieser Achse, daß seine Fläche zu derjenigen geneigt ist, die durch den Mittelpunkt O und den geradlinigten Strom CD geht, so lassen sich die Richtungen der Kräfte A und B, indem sie außerhalb der Fläche des Kreises sind, jede in eine Kraft auf dieser Fläche den Radius der Umdrehung entlang und in eine darauf in rechtem Winkel stoßende auflösen. Die letztere dieser Kräfte wird dahin streben, eine Umdrehung zu erzeugen, und den Kreis in die Lage des steten Gleichgewichtes Ee in der Fläche zu bringen, die ihr und dem Strom CD gemeinschaftlich ist. Deßhalb ist die Richtungs-

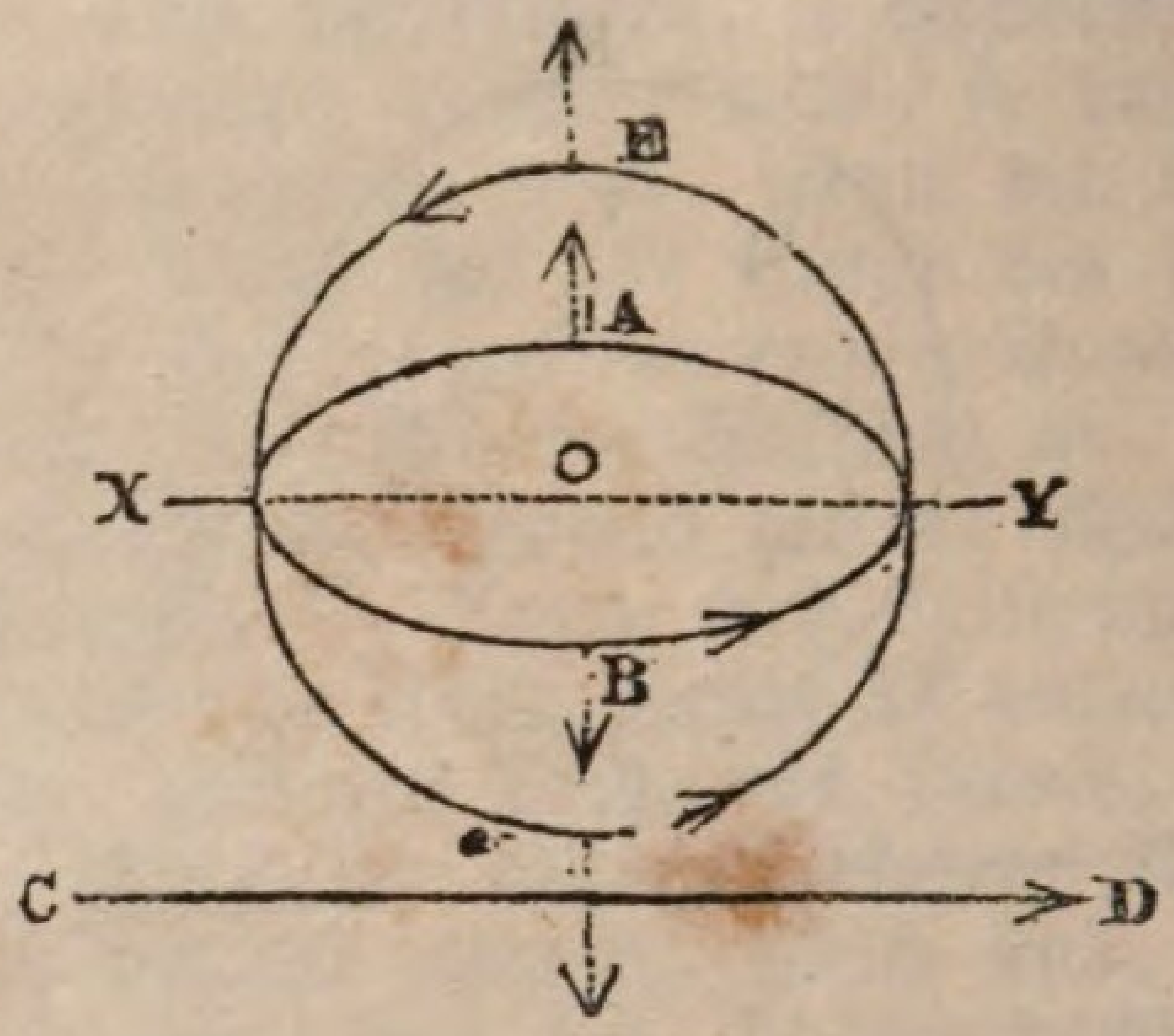


Fig. 124.

kraft oder diejenige, welche dahin strebt, den Kreis in dieser Lage durch Drehen auf seine Achse zu bringen, aus der Summe der resultirenden Kräfte zusammengesetzt, die auf die Theile an jeder Seite der Achse einwirken. Da die beiden Reihen Kräfte zusammen wirken, um dieselbe Umdrehung zu erzeugen, so kömmt es hinsichtlich der letzten Wirkung nicht darauf an, ob die Achse durch den Mittelpunkt des Kreises geht oder nicht, vorausgesetzt, sie ist mit CD parallel und entweder im Kreis oder jenseits desselben, weil im letzteren Fall, wo die Drehungskräfte sich entgegen stehen, die auf B wirkende Kraft größer ist wie die auf A wirkende und auch mit einen mechanischen Vortheil wirkt, so daß sie stets vorherrschen wird.

214. Denken wir uns XY, die Achse eines runden Leiters im rechten Winkel zu CD (Figur 125.) Die Stellung des Gleichgewichts wird unter diesen Umständen genau wie die der frühern sein; die Störung aus der Lage des Kreises, worin dessen Fläche den Strom CD einschließt, wird in den nächsten Theilen des Kreises Drehungskräfte hervorrufen, welche dahin streben werden, ihn zu jener Ebene zurückzuführen (§. 210). Diese Kräfte werden von denen unterstützt werden, welche auf die seitlichen Theile des Kreises einwirken, in welchen eine Anziehung nach den Theilen des geraden Stromes vorhanden ist, wo die Richtungen in Bezug auf die Annäherung oder auf die Zurückweichung hinsichtlich der nächsten Punkte der zwei Leiter sich entsprechen. Die einzigen Kräfte, welche sich diesen entgegensetzen, sind die auf d[illegible]n Theile des Kreises einwirkenden Kräfte,

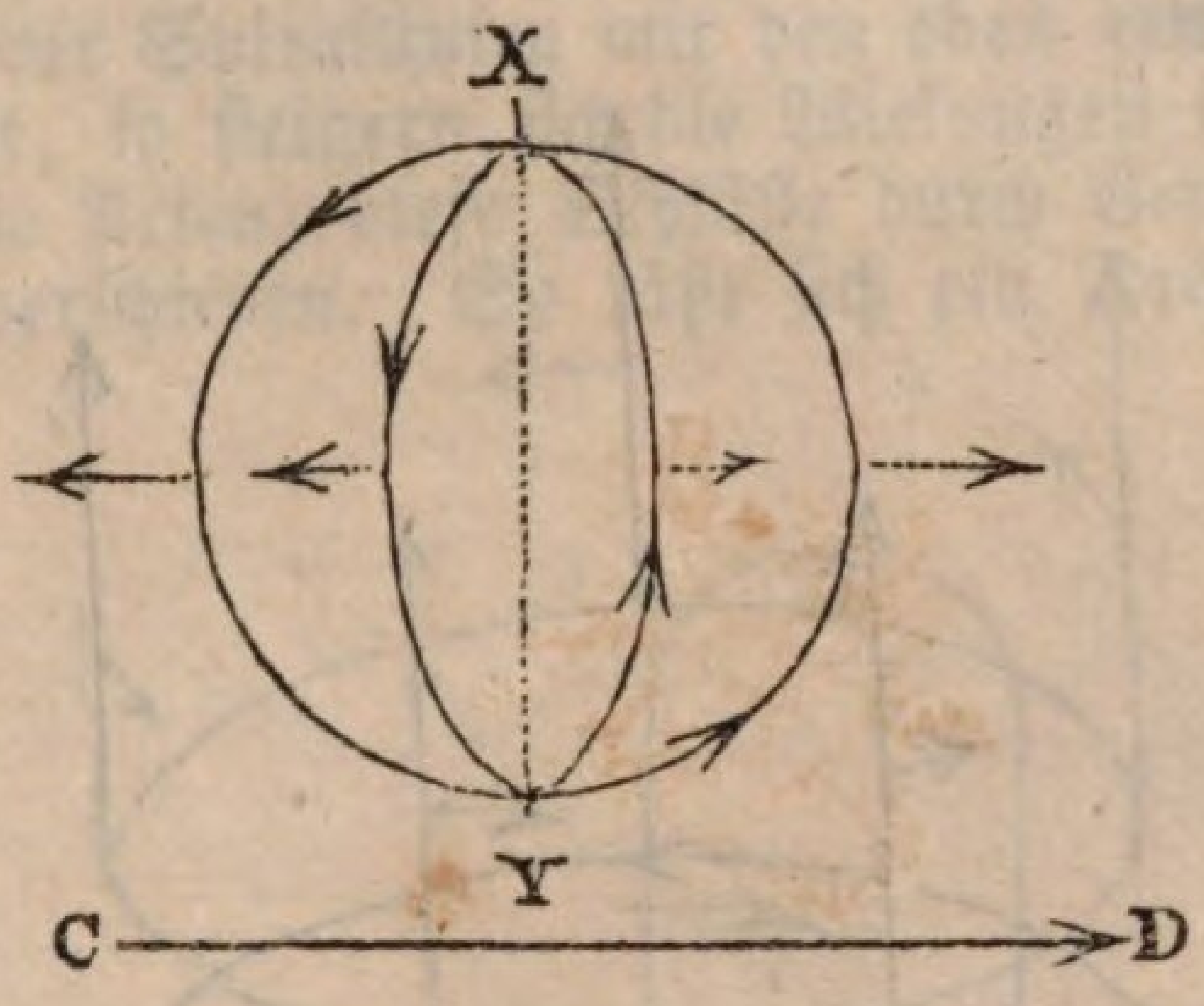


Fig. 125.

welche natürlich zu schwach sind, um die Natur der Wirkung zu verändern, die sich aus ersteren ergeben.

215. Von welcher Art auch die Wirksamkeit sein mag, die der kreisrunde Strom von dem geradlinigen erhält, so wird eine ähnliche und entgegengesetzte Wirkung von ihm auf den letzteren geübt, welcher angetrieben wird, seine Stellung in der Ebene des Kreises und in solcher Art anzunehmen, daß die anstoßenden Ströme in jedem sich in gleichen Richtungen bewegen.

216. Die Wirkung kreisrunder Strömungeu auf einen rechtwinkligen begrenzten Strom, der gänzlich auf einer Seite der Ebene des Kreises liegt, und der in gegebenem Winkel zu ihm geneigt ist, erheischt eine besondere Angabe. Wenn die Richtung des geraden Stromes verlängert, nahe an der Mitte des Kreises vorbeigeht, so stehen die Kräfte, die auf ihn einwirken, beinahe im Gleichgewicht und weder Wirkung noch Gegenwirkung läßt sich erkennen. Findet er sich nahe am Umfang, so wird die Wirkung des nahen Theiles dieses Umfanges vorherrschend sein, und Wirkungen, denjenigen ähnlich, welche zwischen einem begrenzten und unbegrenzten Strom stattfinden, werden sich mit dieser Veränderung zeigen, daß die Bewegung der Uebertragung in einem geraden Drahte zum rechten Winkel des Kreises, da der unbegrenzte Strom kreisrund ist, dem Laufe des Umfangs folgt und selbst rund wird; wird der Leiter an eine zu der Ebene des Kreises senkrechte Achse geheftet, die durch den Mittelpunkt hindurch geht, so wird sich dieser Leiter fortwährend um die Achse drehen, wie in Figur 126 gezeigt ist, wo CD der

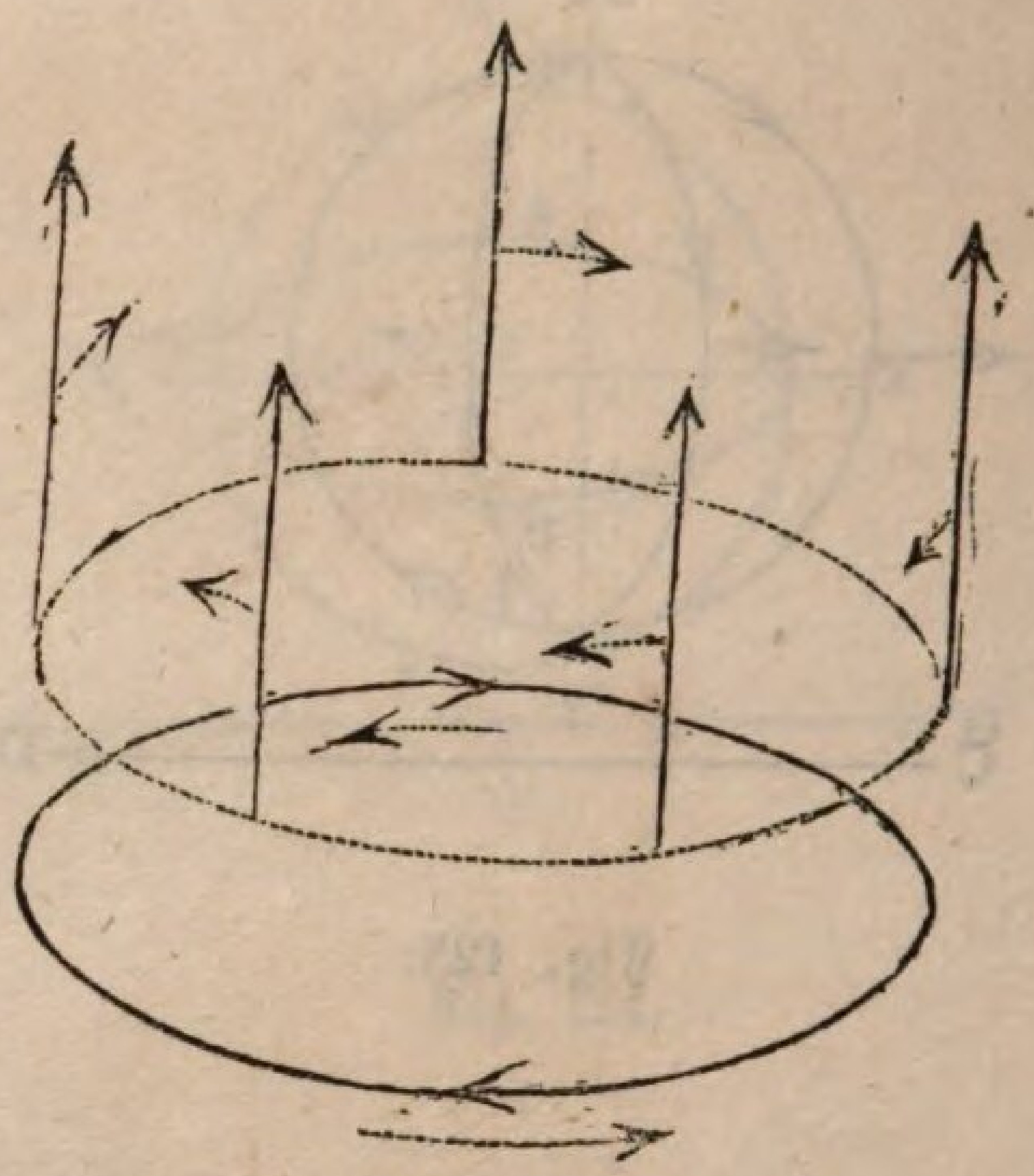


Fig. 126.

kreisförmige Strom, A B der gerade bewegliche aber begrenzte Strom ist. Diese Umdrehungskraft dehnt ihren Einfluß über das Innere des Kreises auf irgend eine Entfernung aus, vorausgesetzt, der gerade Strom geht nicht über die Kreisfläche. Die Rückwirkung des geraden Stromes auf den kreisförmigen Leiter treibt letzteren zur Umdrehung in entgegengesetzter Richtung, wie sie durch die punktirten Linien mit ihren parallelen Pfeilen bezeichnet ist.

217. Alle diese Wirkungen werden beträchtlich vermehrt, wenn eine große Zahl ähnlicher Ströme sich in derselben Richtung, auf den verschiedenen Theilen des Umfanges bewegt, der von dem geraden Strom im letzten Paragraphen beschrieben ist. Dies läßt sich erlangen, wenn man Ströme quer durch eine Zahl Drähte hindurchläßt, welche in der Oberfläche eines Cylinders und parallel mit dessen Achse stehen, welche auch die der Umdrehung ist, oder was gleichbedeutend mit dieser Anordnung ist, wenn man einen Strom die Oberfläche eines hohlen leitenden Cylinders in der Richtung seiner Länge entlang gehen läßt; in dem Fall nämlich läßt sich der Strom betrachten, als theile er sich in unendlich viele parallele Fasern.

218. Eine ähnliche Vermehrung der Kraft läßt sich erlangen, wenn man die runden Strömungen vervielfacht, weder durch Anwendung eines Drahtes, der wie ein

Ring oder wie eine flache Spirallinie gebogen ist. Werden diese Ringe oder Spirallinien mit den oben erwähnten Cylindern vereinigt, so steigern sich die Wirkungen im Verhältniß.

219. Die Arten, diese Schlüsse durch Versuche zu erläutern, sind verschieden. So läßt sich ein Draht Figur 127.

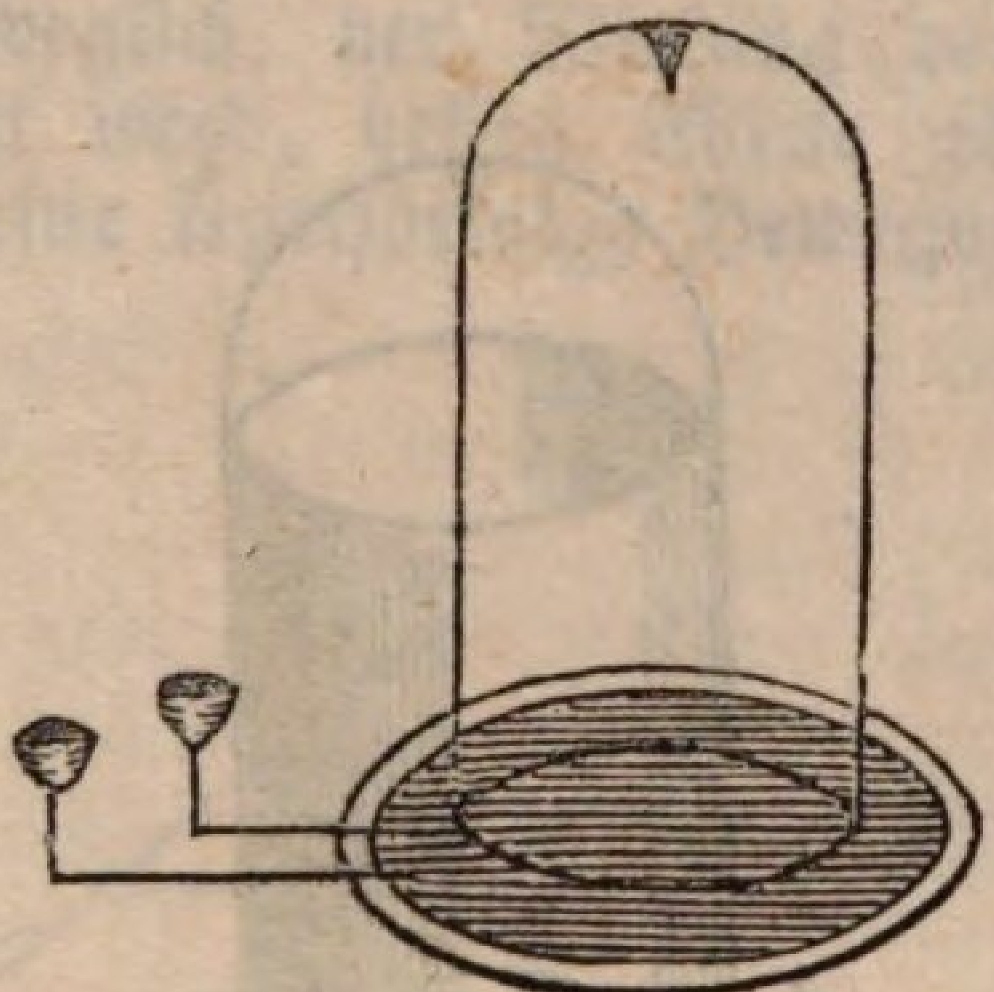


Fig. 127.

der aus zwei scheitelrechten Zweigen besteht, welche oben durch einen Querbogen mit einer nach unten sich richtenden Stahlspitze vereinigt sind, sich unten durch einen kreisrunden Reif vereinigen, der in eine seichte Mulde mit Quecksilber eintaucht, so daß wir Strömungen durch den Draht senden können, welche sich in beiden scheitelrechten Drähten in derselben Richtung bewegen, d. h. in beiden entweder aufwärts oder abwärts. Wenn bei dieser Aufhängung und Verbindung ein runder Strom von unten, entweder vermittelst eines einzigen Kreises wie die Figur zeigt, oder vermittelst eines Spiralgewindes wie in Figur 128, auf ihn einwirkt, so wird der Draht sich um seine Aufhängungsachse in der

Fig. 128.

Richtung umdrehen, welche durch die besondere Richtung des Stromes bedingt ist.

220. Ein holer Cylinder, Figur 129, auf ähnliche Weise im Gleichgewicht gehalten, wie der Figur 123, läßt sich an die Stelle des Drahtes setzen; seine Umdrehung wird jedoch nicht so geschwind sein, weil die zu bewegende Kraft vergrößert ist, obgleich er einen gewaltigeren Strom zu leiten vermag.

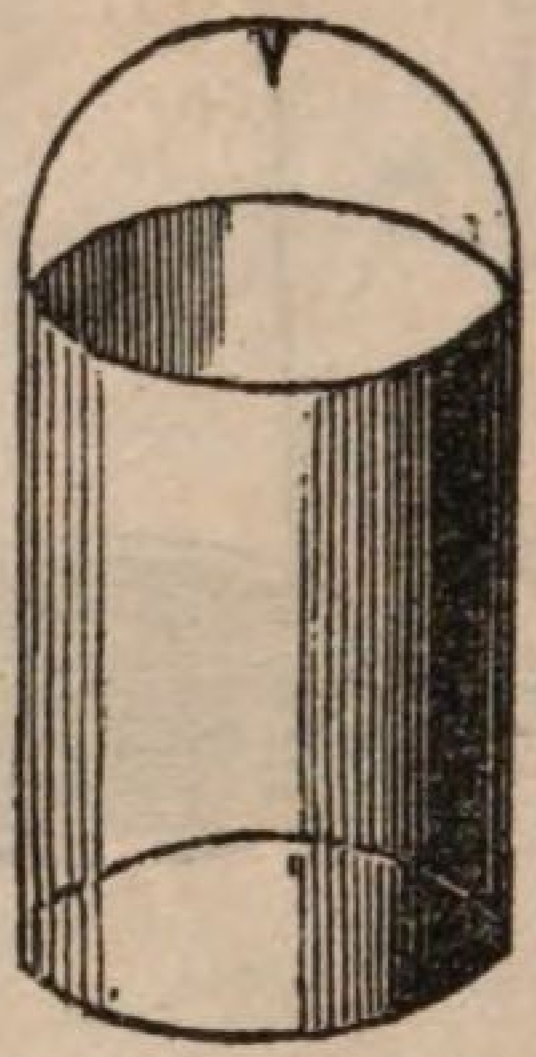


Fig. 129.

221. Die Umdrehung des runden oder spiralförmigen Leiters läßt sich in gleicher Weise zeigen, wenn man einen solchen von einem Punkte in der Achse des Kreises aufhängt, wie Figur 130, und ihn der Wirkung eines beschränkten scheitel-

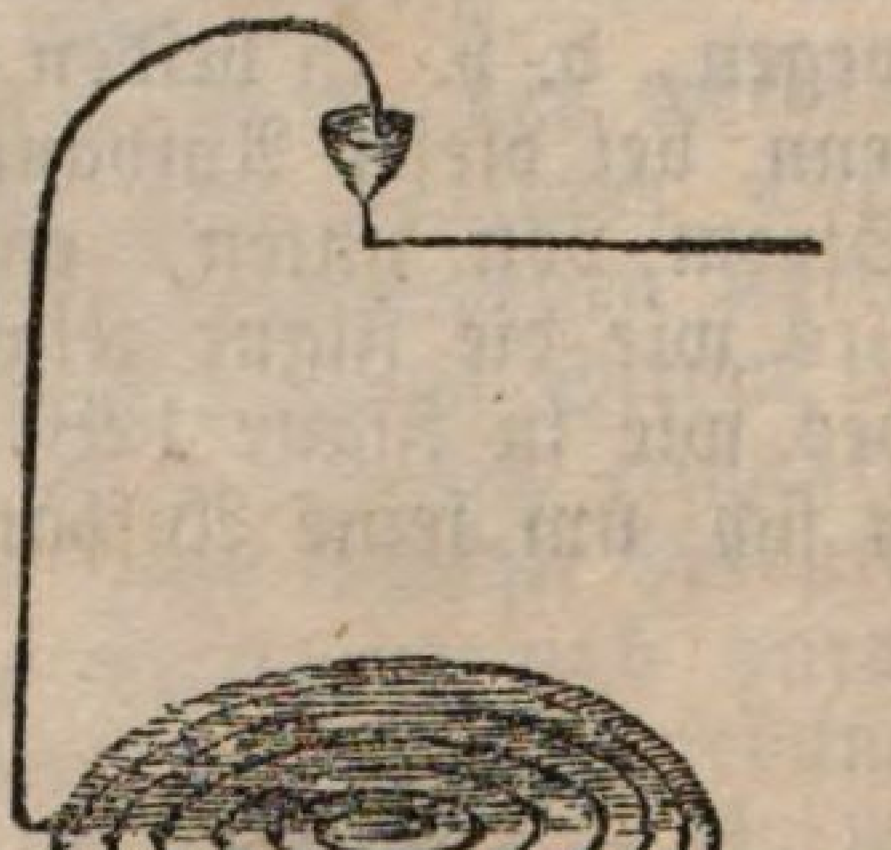


Fig. 130.

rechten Stromes aussetzt, der sich nicht auf beide Seiten der Fläche ausdehnt.

222. Die Wirkung ist dieselbe, in welchem Winkel die Richtung des geraden Drahtes sich zur Ebene des runden Stromes neigen mag, vorausgesetzt, die Achse worauf er sich dreht, ist senkrecht zu dieser Ebene und geht durch den Mittelpunkt; wenn so der Draht A B Figur 131, um eine Achse A X beweglich, der Wirkung des runden Stromes C D ausgesetzt wird, dessen Ebene gänzlich darunter liegt, so wird er eine kegelförmige Bewegung beschreibend, sich umdrehen.

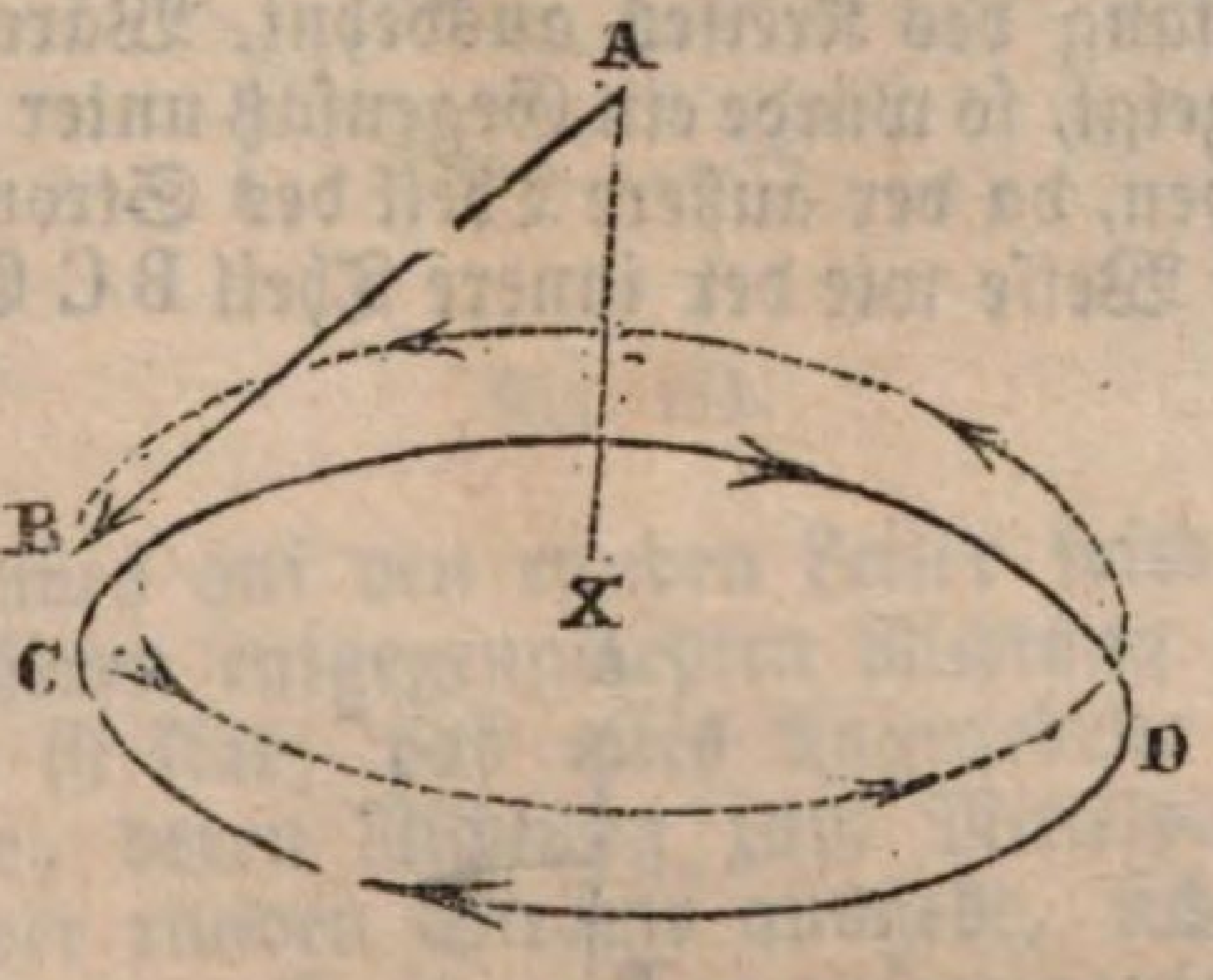


Fig. 131.

223. Setzt man diese Nachforschung fort, so ist es klar, daß eine umdrehende Bewegung ebenfalls stattfinden wird, wenn der gerade Leiter zur Ebene des Kreises parallel steht, vorausgesetzt, er übersteigt nicht an Länge den Radius des Kreises. So dreht sich der gerade Leiter Fig. 132, welcher

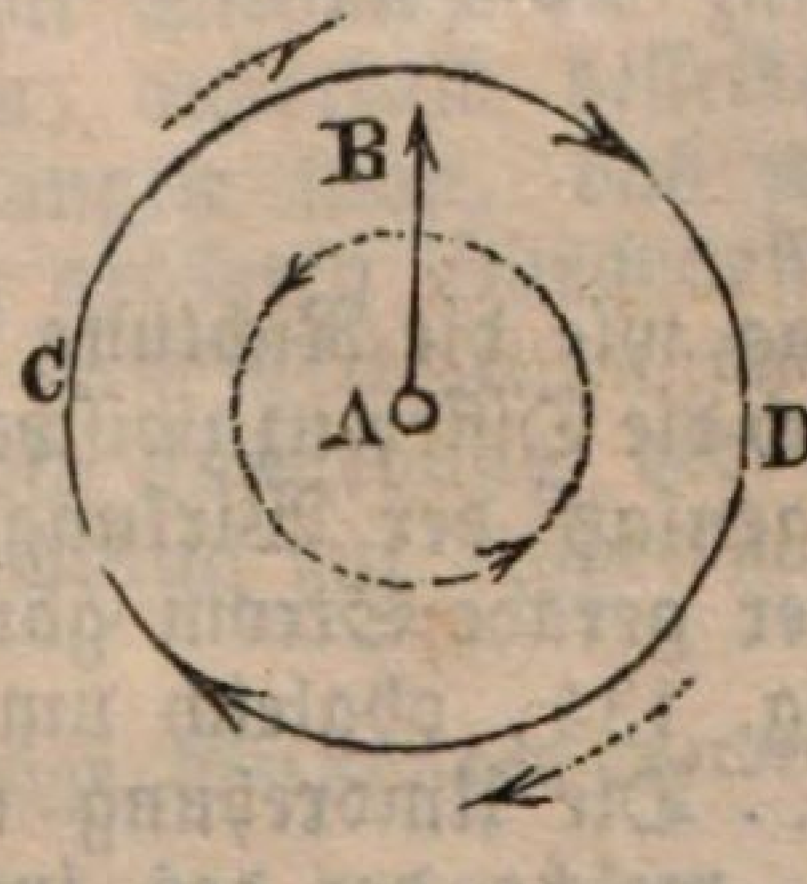


Fig. 132.

gänzlich innerhalb des Kreises CD liegt, in derselben Richtung, wie der Strom in seinem Kreise, wenn sein eigener Strom vom Umfang zum Mittelpunkt geht. Wenn sein Strom vom Mittelpunkt zum Umfang geht, so dreht er sich in einer derjenigen Bewegung entgegengesetzten Richtung, die der Strom des Kreises ausführt. Andererseits, ist der gerade Strom fest und der Kreis um seinen Mittelpunkt beweglich, so verursacht eine Wirkung des ersteren die Umdrehung des letzteren in Richtungen, die den so eben angegebenen entgegengesetzt sind.

224. Es ist zu bemerken, daß wir diesen Satz auf die Fälle beschränkt haben, in welchen der Strom AB sich nicht über den Umfang des Kreises ausdehnt. Wäre dies der Fall, wie Fig. 133 zeigt, so würde ein Gegensatz unter den Drehungskräften entstehen, da der äußere Theil des Stromes AB in entgegengesetzter Weise wie der innere Theil BC Einfluß erleiden

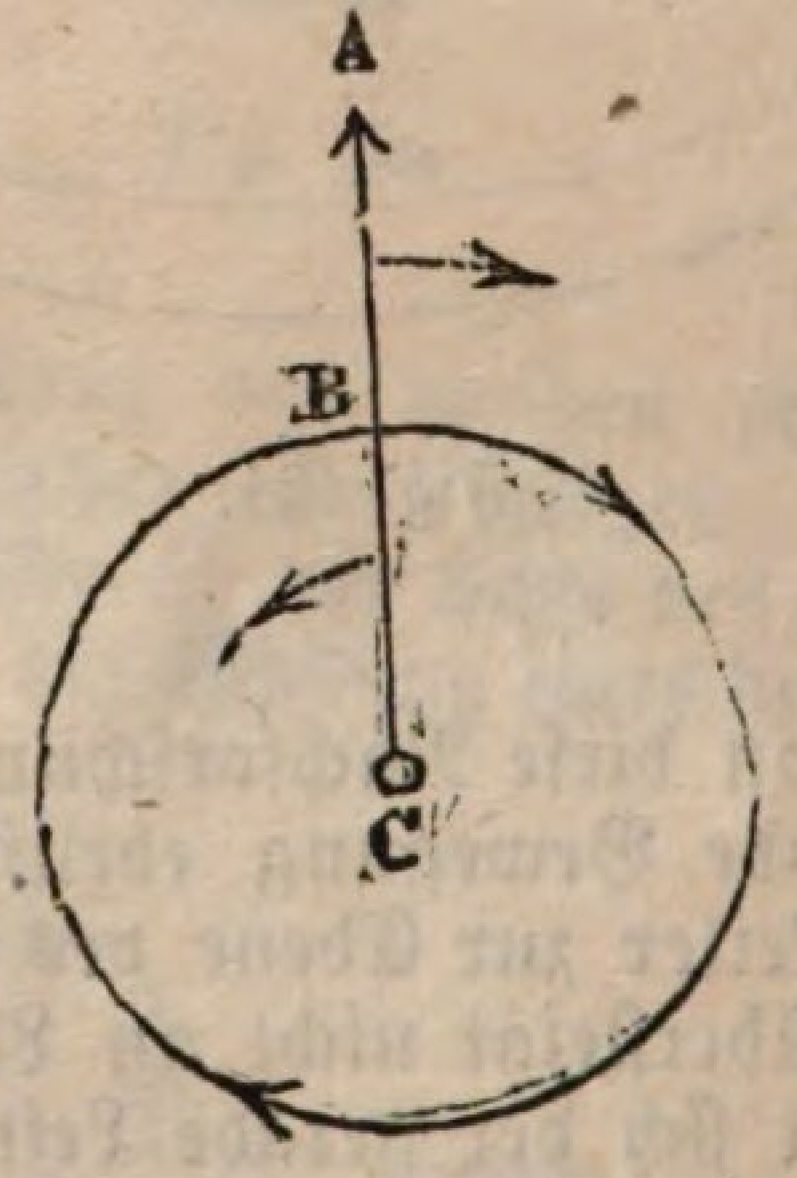


Fig. 133.

müßte und der Betrag wie die Richtung der sich ergebenden Bewegung würde durch die Differenz zwischen denselben bedingt werden. Dieser Gegensatz der Wirkung wird andererseits aufgehoben, wenn der gerade Strom gänzlich äußerlich zum Kreise wie in AB Fig. 134, obgleich um dieselbe Achse wie früher, beweglich ist. Die Umdrehung wird jetzt in einer Richtung ausgeführt, welche der des inneren Stromes im frühern Fall entgegengesetzt ist. Die Rückwirkung eines

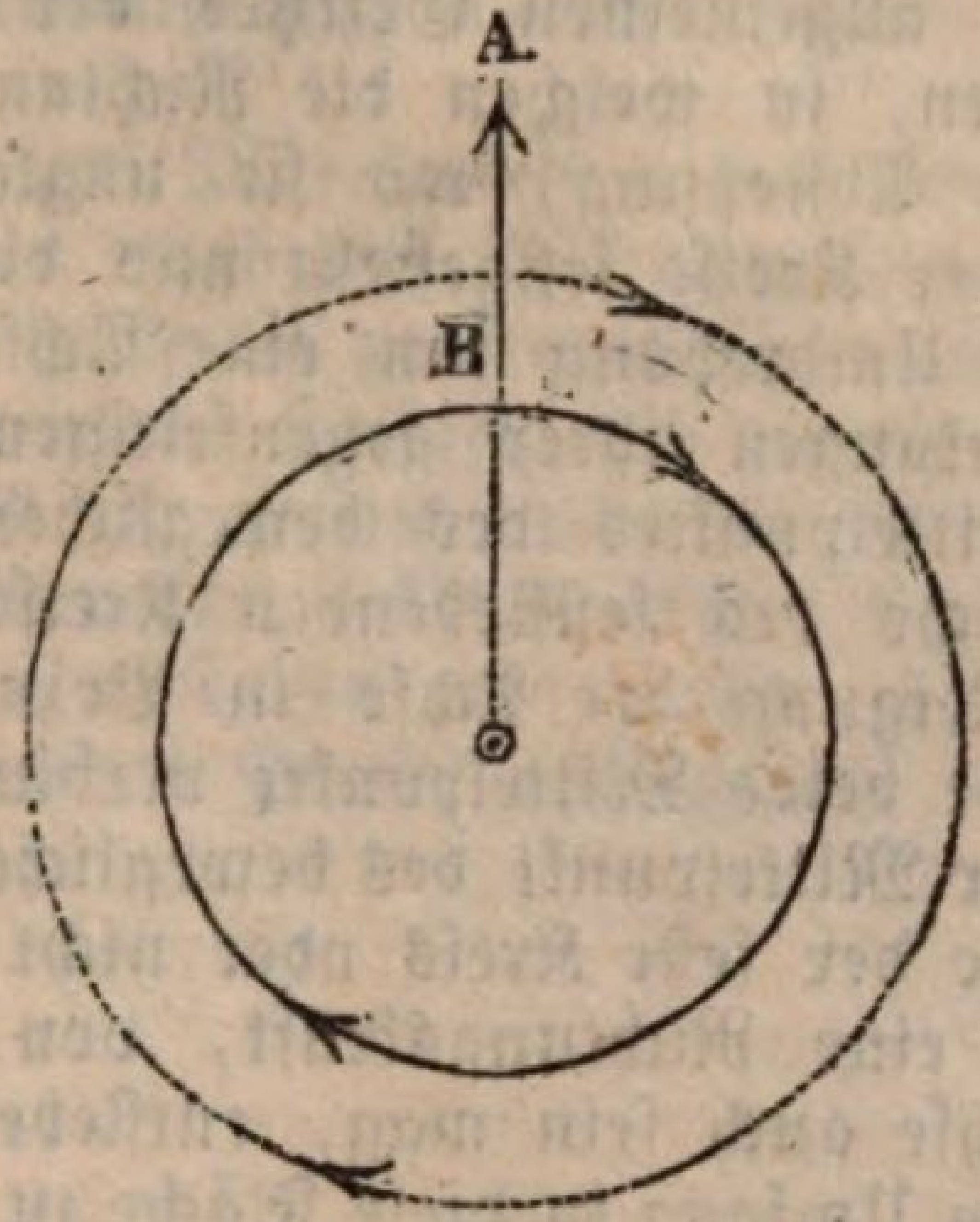


Fig. 134.

äußeren Stromes auf den runden Leiter wird gleichfalls in einer der früheren entgegengesetzten Richtung stattfinden.

225. Es ist klar, daß alles Angegebene in Betreff gerader Ströme, deren Richtung zum Mittelpunkt oder vom Mittelpunkt der runden Ströme ausgeht, sich ebenfalls auf eine Anzahl strahlenförmiger oder zusammenlaufender Kreise anwenden läßt; wenn daher der Cylinder Fig. 129, der durch seine Spitze mit einem Pol der Volta'schen Batterie in Verbindung steht, mit dem untern Rand in eine flache Schale voll Quecksilber eingetaucht wird, die durch einen Draht vom Mittelpunkt aus mit dem entgegengesetzten Pol der Batterie in Verbindung steht, so werden strahlenförmige oder zusammenlaufende Strömungen in diesem Quecksilber entstehen, welche, indem sie auf die scheitelrechten Strömungen in den Seiten des Cylinders einwirken, denselben umdrehen. Wenn die Ströme, die zum Cylinder gehen oder von dort kommen, außerhalb desselben sich befinden, was man dadurch erlangen kann, daß man den Cylinder mit einem Metallring größeren Durchmessers umgibt, und daß man diesen Ring zum Mittheilungsmittel mit der Batterie macht, so wird die Umdrehung des Cylinders in der entgegengesetzten Richtung zur früheren geschehen.

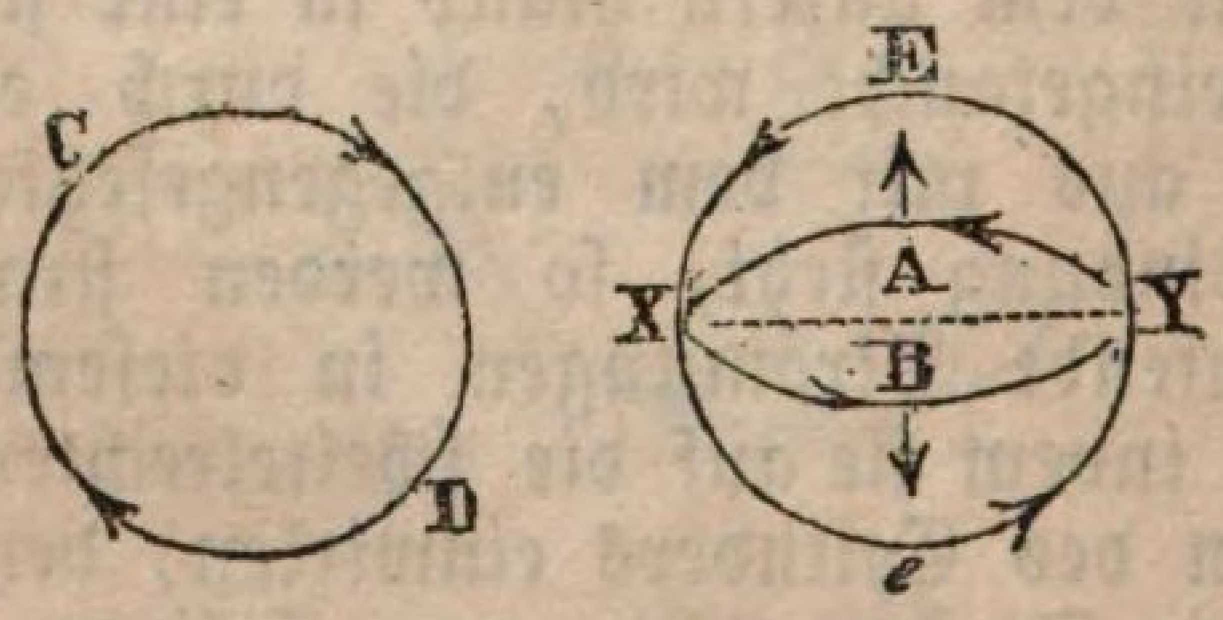
Gegenseitige Wirkungen runder Strömungen.

226. Die gegenseitigen Wirkungen, welche zwischen zwei runden Strömen geäußert werden, lassen sich leicht aus der

Anwendung des allgemeinen Gesetzes der Anziehung unter denjenigen Theilen, in welchen die Richtungen der Ströme gleich, und der Abstoßung, wo sie ungleich sind, ableiten. Ist einer der Kreise festgestellt und die Bewegung des andern auf die Umdrehung um eine Achse beschränkt, so werden die Wirkungen ihrer gegenseitigen Thätigkeit von der Lage des Mittelpunktes des beweglichen Kreises in Bezug auf die Fläche des feststehenden Kreises und auch von der Lage und Neigung der Achse in Bezug auf die Linie abhängen, welche beide Mittelpunkte verbindet.

237. Ist der Mittelpunkt des beweglichen Kreises in derselben Fläche wie der feste Kreis oder nicht weit davon entfernt, so wird eine Richtungskraft, von welcher Art die Neigung der Achse auch sein mag, entstehen, welche dahin strebt, den ganzen Umfang in diese Fläche zu bringen, und ihn eine solche Stellung annehmen zu lassen, daß die Ströme in den nahen Theilen des Kreises in denselben Richtungen sein werden. Ist z. B. CD Fig. 135, 136 befestigt und AB der bewegliche Kreis auf der Achse XY, so wird die Leitungskraft den letzteren in die Stellung Ee, d. h. in dieselbe Fläche mit CD bringen, und dies wird gleicherweise stattfinden, mag die Achse im rechten Winkel zur Linie, welche ihren Mittelpunkte verbindet, wie in Fig. 135 stehen, oder damit wie

Fig. 135.



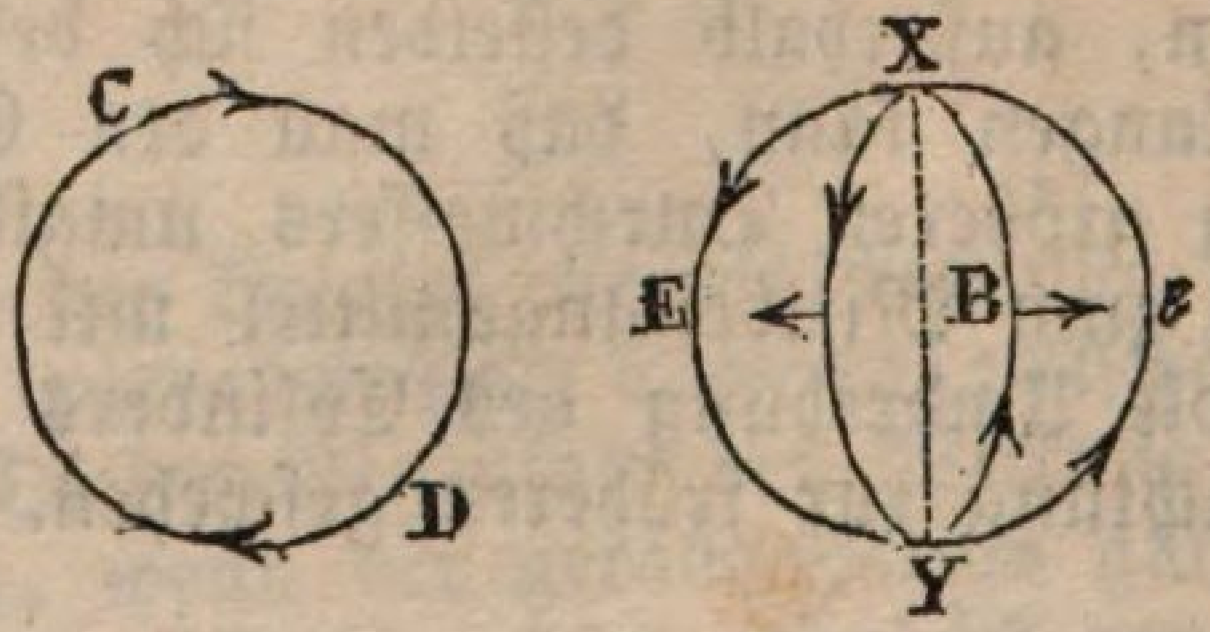


Fig. 136.

in Fig. 136 zusammenfallen, oder eine andere Neigung dazu haben.

228. Liegt der Mittelpunkt eines beweglichen Kreises irgendwo in einer durch den Mittelpunkt des ersteren gezogenen Linie, die senkrecht zu seiner Ebene steht, so wird der bewegliche Kreis dahin streben, sich in einer Ebene parallel zum festen Kreis zu stellen, wo die Strömungen sich in gleicher Weise bewegen. Dies ergibt sich aus Figur 137, worin dieselben Buchstaben wie vorhin gebraucht sind, um die sich entsprechenden Punkte anzugeben.

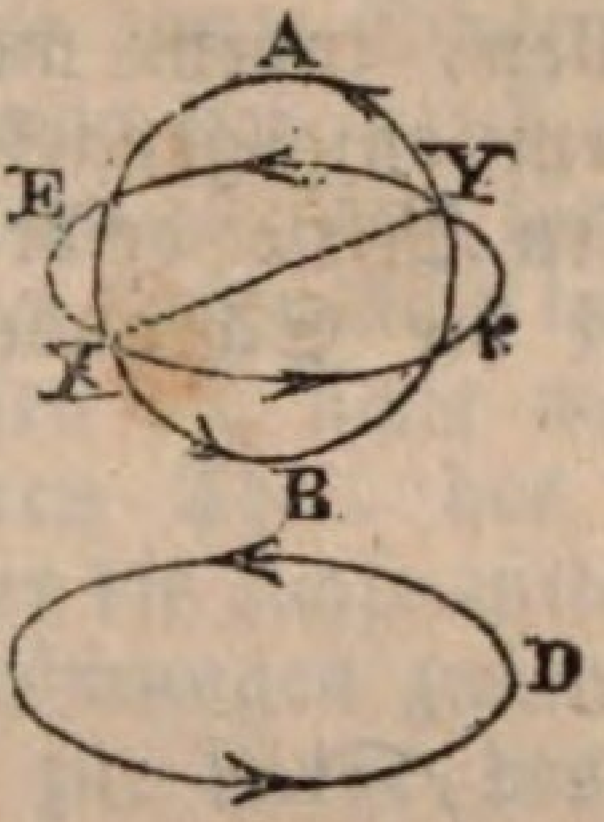


Fig. 137.

229. In beiden Fällen findet sich eine Annäherungskraft, so oft der bewegliche Kreis in seine Stellung des Gleichgewichtes gelangt ist; diese Kraft ist in letzterem Fall besonders stark, um so mehr da die Anziehung der entsprechenden Theile des Kreiss gleichförmig im ganzen Umfang ist.

230. Für jede Stellung des Mittelpunktes eines beweglichen Kreises, die in der Mitte zwischen dem beschriebenen liegt, gibt es eine besondere Stellung des Gleichgewichtes, deren Linie verlängert, die Ebene des feststehenden Kreises in einer gewissen Entfernung jenseits derselben schneiden würde.

231. Alle diese Stellungen des Gleichgewichtes sind bestimmt und schließen die Möglichkeit einer fortgesetzten Umdrehung aus.

232. Wenn ein elektrischer Strom nach Durchlaufung einer großen Linie leitender Körper auf sich selbst zurückkehrt, so daß er auf den Punkt, von wo er ausgegangen war,

oder wenigstens in dessen Nähe gelangt, so hat man denselben einen Umlauf durch eine geschlosseue Kette genannt. Dies war der Fall bei allen bisher beschriebenen Kreisen. Eine der wichtigsten Thatsachen, worauf die Theorie der Elektrodynamik beruht, besteht darin, daß die gegenseitige Wirkung zweier geschlossener Ketten in keiner derselben eine fortgesetzte drehende Bewegung in unveränderlicher Richtung erzeugen kann. Folglich kann auch keine Ansammlung von Strömen in geschlossenen Ketten eine solche drehende Bewegung erzeugen, in welcher Art man sie auch anordnen mag.

233. Versuche über die gegenseitige Wirkung kreisförmiger Strömungen, entweder eines auf den andern oder beider auf einander oder auf gerade Leiter, lassen sich am vortheilhaftesten vermittelst eines flachen, astatisch gemachten Spiralgewindes anstellen, indem man demselben ein ähnliches Gewinde an dem entgegengesetzten Arm des Hebels entgegensetzt, an dessen Mitte beide aufgehängt sind, wie Fig. 138 zeigt, wobei die Schraubenwindungen an jedem

Fig. 138.

eine besondere Richtung haben, so daß der Drehungseinfluß der Erde auf den einen durch deren Einfluß auf den andern im Gleichgewicht gehalten wird.

Gegenseitige Wirkung gewundener und geradliniger Leiter.

234. Wir haben gesehen, daß die Wirkung der Leitungsdrähte, welche in die Form einer flachen Spirale zusammengerollt sind, beinah in jeder Hinsicht der eines einzigen runden Drahtes gleich ist; wird aber der Draht um die Oberfläche eines Cylinders gewunden, so daß er ein Schraubengewinde bildet, so ist seine Wirkung weit verwickelter. Wenn die Enden des Drahtes nach Vervollständigung des Schraubengewindes die Achse entlang zurückgeführt werden, wie §. 105 beschrieben und Fig. 71 dargestellt ist, so daß sie den sogenannten elektrodynamischen Cylinder Ampère's bilden, so läßt sich das Ganze als in Wirkung einer Aufeinanderfolge von Kreisen gleich betrachten, deren Ebenen senkrecht zur Achse stehen und die ganze Länge des Cylinders einnehmen. In der Bestimmung der durch eine solche Vorrichtung in Wirksamkeit gebrachten Kräfte können wir deßhalb die geringe schräge Richtung außer Acht lassen, welche die Windungen der Drähte gegen die Achse machen, deren Wirkung durch den entsprechenden Theil des Drahtes vollkommen neutralisirt wird, welcher die Achse entlang geht; wir können das Ganze als aus Strömungen zusammengesetzt betrachten, die in rechten Winkeln zur Länge des Cylinders umlaufen.

235. Da wir gesehen haben, daß der Einfluß eines einzigen kreisrunden Stromes (D, Fig. 126) auf einen geraden beschränkten Strom AB, der senkrecht zur Ebene des Kreises ist, dahin wirkt, daß er eine Neigung zu einer Umdrehung einführt, deren Bewegung, mit sich selbst parallel, um die vom Mittelpunkt des Kreises senkrecht zu seiner Ebene gezogene Linie geht, so ist es klar, daß die Hinzufügung ähnlicher Kreise, die hinter einander unter den ersten gestellt sind (vorausgesetzt, die Linie ist scheitelrecht, wie in der Figur), dahin wirken, diese Kraft der Umdrehung zu steigern. Allerdings ist die Wirkung eines jeden hinzugefügten Kreises geringer, wie die des vorhergehenden, nicht allein weil die Entfernung größer, sondern auch weil seine Wirkung schräger ist, und weil die Differenz zwischen den Wirkungen der näheren und entfernteren Theile des Kreises sich fortwährend vermindert, wie der Winkel zwischen den Linien, die von den verschiedenen Punkten in dem geraden Leiter und den Mittelpunkten der Kreise gezogen sind, sich vergrößert, welches der Fall ist, so wie sie weiter von dem Ende des zweiten Leiters entfernt werden. Aus allen diesen Rücksichten ist die Kraft, durch welche der Strom AB, Fig. 139, zur Umdrehung um die Achse X getrieben wird, in Folge der

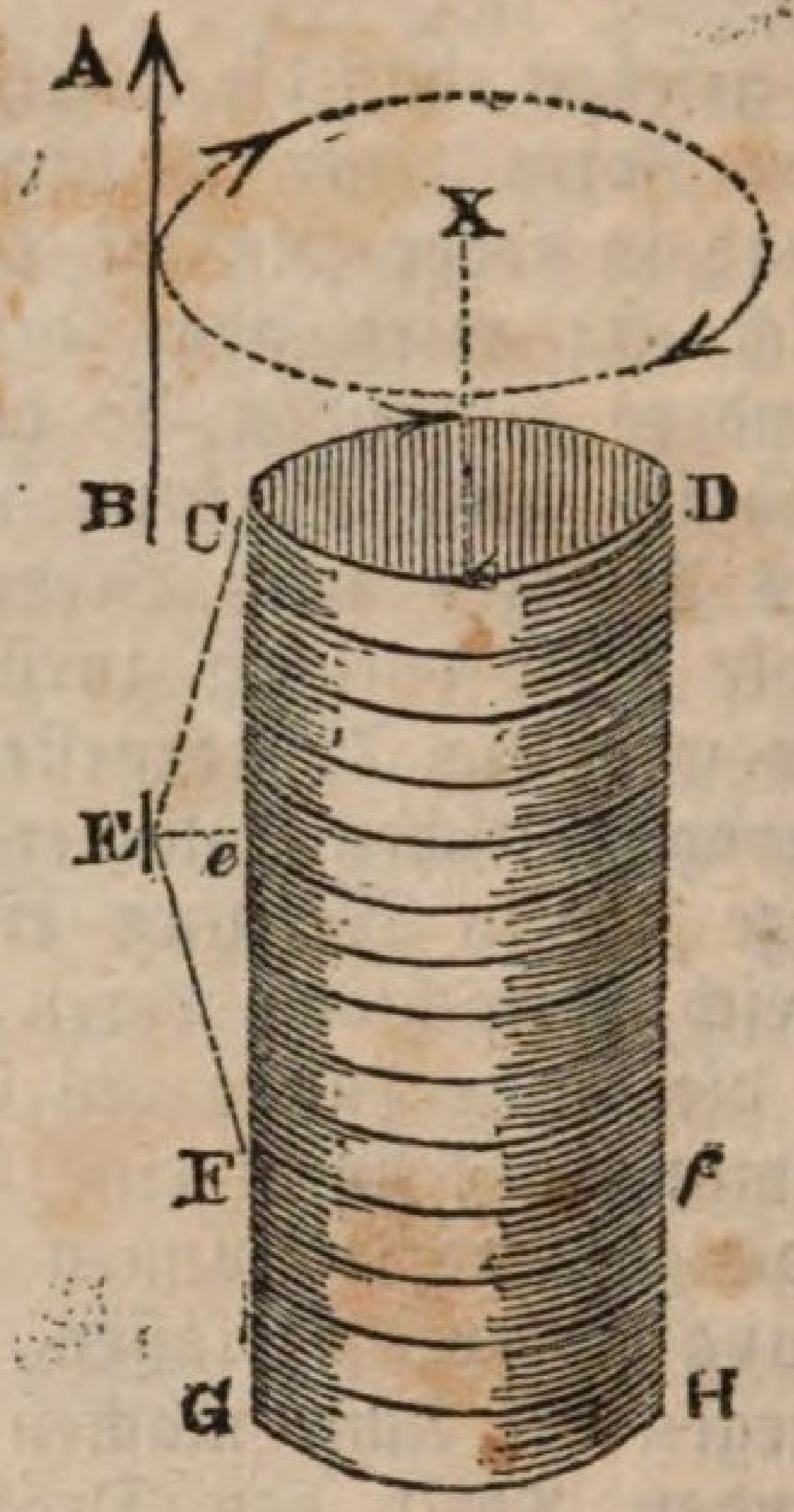


Fig. 139.

Wirkung des unteren Kreises GH, weit geringer, wie diejenige, welche der Kreis Ff äußert, und noch geringer wie diejenige, welche CD äußert.

236. Andererseits, fügen wir eine Reihe von runden Strömungen über CD hinzu, so wirken sie mit den unteren Kreisen dahin zusammen, daß sie eine Neigung zur Umdrehung in dem geraden Leiter erzeugen; ein jeder aber wird dies allein durch seine Wirkung auf denjenigen Theil des Leiters ausführen, der über seiner eigenen Fläche liegt, denn seine Wirkung in irgend einem Theile, der unter dieser Fläche gelegen ist, geht dahin, eine Umdrehung in der entgegengesetzten Richtung hervorzurufen. Somit wird die auf irgend einen Elementartheil des scheitelrechten Stromes geübte Wirkung, z. B. in E, soweit sie von den Kreisen über demjenigen abhängt, welcher ihm am nächsten liegt, durch eine gleiche Zahl Kreise unter demselben im Gleichgewicht gehalten; d. h. die Kreise, welche zwischen C und e liegen, werden durch die zwischen e und F im Gleichgewicht gehalten, indem der ganze Theil des Cylinders zwischen C und F neutralisirt wird; der einzig thätige Theil ist der jenseits F liegende, d. h. zwischen F und G. Dieser thätige Theil des Cylinders wird im Verhältniß kleiner, wie das Element

näher zur Fläche liegt, welche den Cylinder in zwei gleiche Theile sondert, und auf diesem Punkt wird die Wirkung gleich Null; im Gegentheil steigt sie, wie das Element mehr einem Ende des Cylinders sich nähert, wo sie am größten ist. Diese Enden lassen sich somit als die thätigen Pole des Cylinders betrachten, um welchen die Umdrehung des Leiters geschieht; die Resultante aller von jedem Theil des Cylinders in Wirksamkeit gerufenen Kräfte, hat die Richtung der Tangente des Umdrehungskreises, d. h. sie steht im rechten Winkel zur Linie, welche den geraden Leiter und den Pol verbindet.

237. Es ist kaum nothwendig zu bemerken, daß die Wirkung in diesem wie in jedem andern Beispiele zwischen dem geraden Leiter und dem elektrodynamischen Cylinder eine gegenseitige ist, so daß, wenn der Conduktor befestigt und der Cylinder beweglich ist, der letztere sich um den ersten umdrehen wird, und daß er, wenn er auf eine Bewegung um seine eigene Achse beschränkt ist, eine drehende Bewegung um diese Achse ausführt.

238. Dieselbe Neigung zur Umdrehung um die Pole eines elektrodynamischen Cylinders, welche aus einer Kraft tangentialer Art entsteht, die offenbar von diesen Polen ausgeht, wird beobachtet, von welcher Art auch der Neigungswinkel zwischen dem geraden Leiter und der Cylinderachse sein mag. Um diese merkwürdige Thatsache zu erklären, deren Anwendung von beträchtlicher Wichtigkeit in theoretischer Hinsicht ist, müssen wir uns auf den §. 198 ausgesprochenen Grundsatz berufen, daß die elektrodynamischen Kräfte der Strömungen, die in gleicher Weise zwei verschiedene Flächen einnehmen, sich unter demselben Winkel ausdehnen und in derselben Richtung in Bezug auf irgend einen Punkt zu einem Elementartheilchen eines Stromes auf diesem Punkte liegen, einander gleich sind. Auch wird es bequem sein, daß man die Wirkungen jedes runden Stromes in diejenigen auflöst, die sich auf Ebenen in rechten Winkeln zu einander äußern, eine Betrachtungsweise, welche den in der Dynamik stets benutzten Auflösungen der Kräfte entspricht und keinen Unterschied im Resultate machen wird. Man denke sich also, daß die Strömungen, anstatt sich im Umfang eines Kreises zu bewegen, die vier Seiten eines Quadrates durchziehen, und daß der Cylinder durch ein Quadratprisma dargestellt ist. S N Fig. 140 ist dazu bestimmt, die Vorstellung eines so gebildeten Prisma zu erwecken, dessen Oberfläche von elektrischen Strömungen eingenommen ist, die um jedes der Plättchen umlaufen, in welche es durch Ebenen, die senkrecht zur Achse stehen, getheilt werden kann; die Richtung der

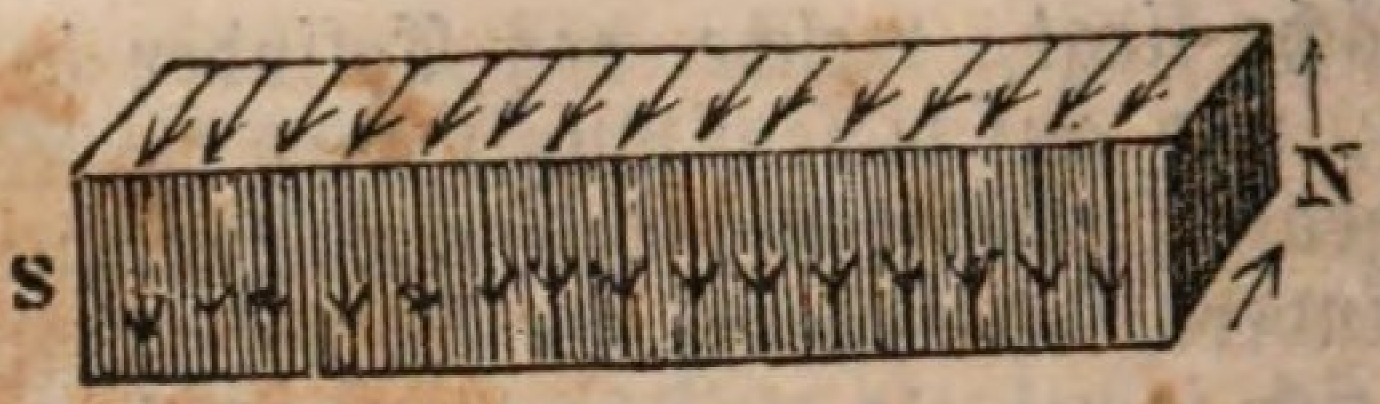


Fig. 140.

Strömungen ist an den zwei Seiten, wie man sieht, durch Pfeile bezeichnet. An den entgegengesetzten nicht gesehenen Seiten gehen die Ströme natürlich in der entgegengesetzten Richtung.

239. Untersuchen wir jetzt die Wirkungen der Strömungen auf jeder Seite an einem geraden Leiter, dessen Richtung in rechtem Winkel zur Achse ist und welcher in verschiedenen Lagen zum Prisma steht. PQRS Fig. 141 sei die obere Oberfläche dieses Prisma und seine Achse sei

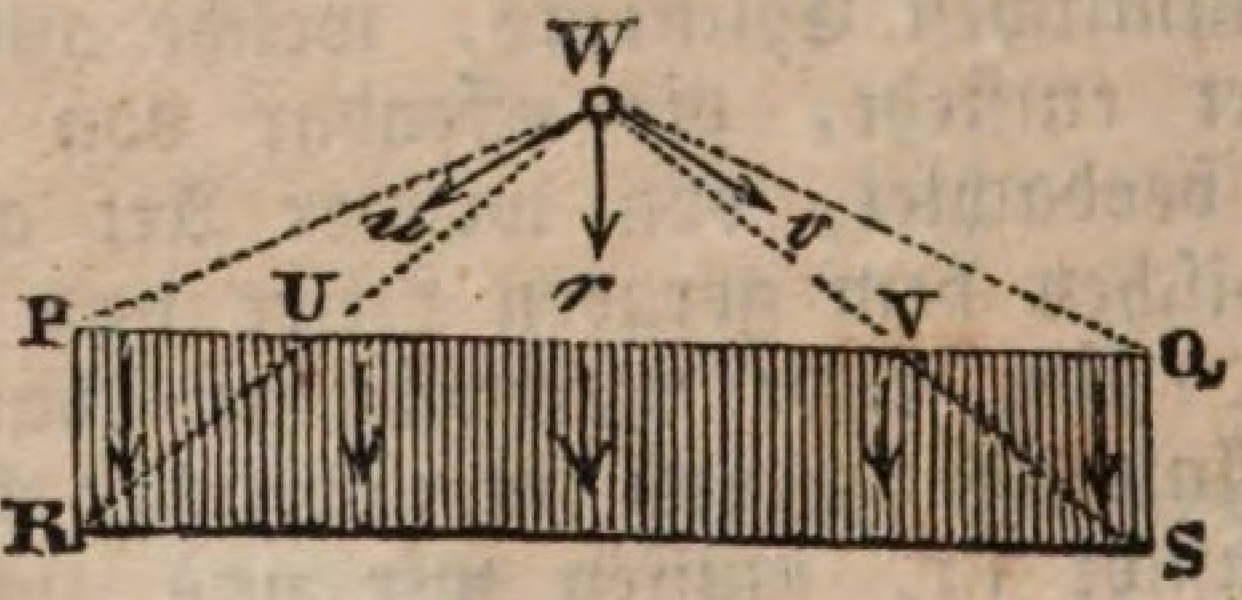


Fig. 141.

horizontal; W sei der Durchschnitt eines Leitungsdrahtes unbestimmter Länge senkrecht zur Fläche der Figur; der Strom bewege sich in diesem Draht in derselben Richtung wie diejenigen Stömungen, welche die anstoßende scheitelrechte Seite des Prisma durchziehen, dessen oberer Rand PQ ist. Wir wollen z. B. annehmen, daß die Strömungen in dem Drahte und auch in der anstoßenden Seite aufsteigen, von wo sie die obere Seite von PQ nach RS, wie die Pfeile andeuten, durchziehen, und an der W entgegengesetzten Seite, deren Rand RS ist, wieder absteigen und an die untere Seite in der Richtung von RS nach PQ zurückkehren. Da die Strömungen in entgegengesetzten Richtungen in den oberen und unteren Oberflächen des Prisma gehen, so werden ihre Wirkungen auf W, so weit eine horizontale Bewegung betheiligt ist, vollkommen neutralisirt. Wir brauchen deßhalb nur die

Wirkungen der scheitelrechten Oberflächen PQ und RS zu untersuchen. RW und SW seien die Durchschnitte zweier scheitelrechten Flächen, die von W nach R und S gezogen sind, und PQ in U und V durchschneiden. Es folgt aus dem oben aufgestellten Satze, daß die Wirkungen der Strömungen in dem Theil der Oberfläche PQ, der nach W liegt und zwischen UV angeschlossen ist, durch die Strömungen der Oberfläche RS, die in entgegengesetzten Richtungen laufen, genau im Gleichgewicht gehalten werden. Die sich ergebende Wirkung deßhalb läßt sich nur durch die Strömungen in den noch übrigen Theilen der Oberfläche PQ bestimmen, die zwischen P und U auf einer Seite und zwischen V und Q auf der andern liegen, welche beide den Strom in W anziehen, der erstere in der Richtung Wu, der letztere in der Richtung Wv. Diese zwei Kräfte vereinigen sich um eine Resultante in der Richtung Wr zu geben, welche die Anziehung nach der Mitte des Prisma anzeigt.

240. Im Verhältniß wie die Lage des scheitelrechten Leiters näher zu einem der Enden des Prisma, z. B. QS, genommen wird, vermehrt sich der Theil PU auf der Seite PQ, d. h. der zwischen RW und P gelegene, an Ausdehnung, während der Theil VQ sich vermindert. Somit vermehren sich die Kräfte, die aus den Anziehungen des ersten Theils sich ergeben; die der letztern mindern sich und die mittlere Kraft wird mehr nach W geneigt.

241. Liegt W in der Fläche auf der Seite QS, wie in Fig. 132, so verschwindet die Kraft, die aus den Strömen bei Q entsteht, und die Wirkung auf den Draht hängt allein

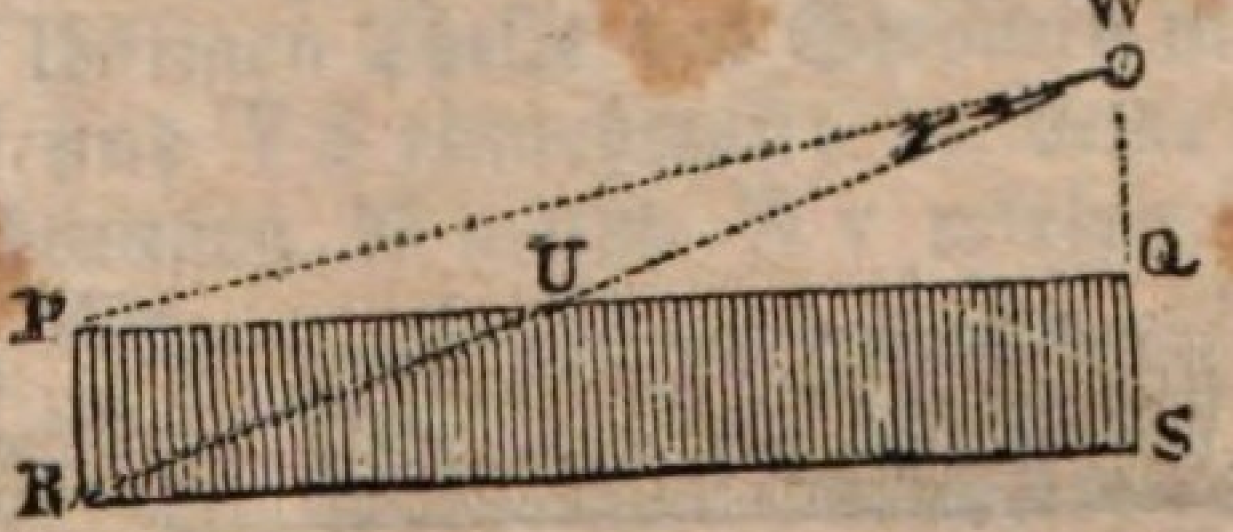


Fig. 142.

von den Strömungen in der entfernteren Abtheilung der Seite PQ ab, nämlich der zwischen P und U. Die sich ergebende mittlere Kraft wird deßhalb nach diesen Strömen gerichtet und ist beinahe in rechtem Winkel zur Linie WQ.

242. Liegt W auf der andern Seite dieser Linie (§. 143), so ist die Ausdehnung des thätigen Theiles PQ beträchtlich vermehrt, denn derselbe nimmt jetzt den großen Raum PU ein; die Kraft hat sich aber nicht in demselben Verhältniß vermehrt, weil die Richtung schräger und entfernter wie früher ist. Die Resultante liegt in der Richtung Wu. Sie ist jedoch mit einer andern Reihe Kräfte verbunden, welche aus dem nicht ausgeglichenen Theile VS der Oberfläche RS zwischen S und der scheitelrechten Fläche WQV entstehen. Die Strömungen dieses Theils bewegen sich in einer der von W entgegengesetzten Richtung; ihre Wirkung ist deßhalb abstoßend und die ganze Kraft läßt sich durch Wv darstellen, welche mit Wu verbunden als Resultante die Kraft Wa gibt.

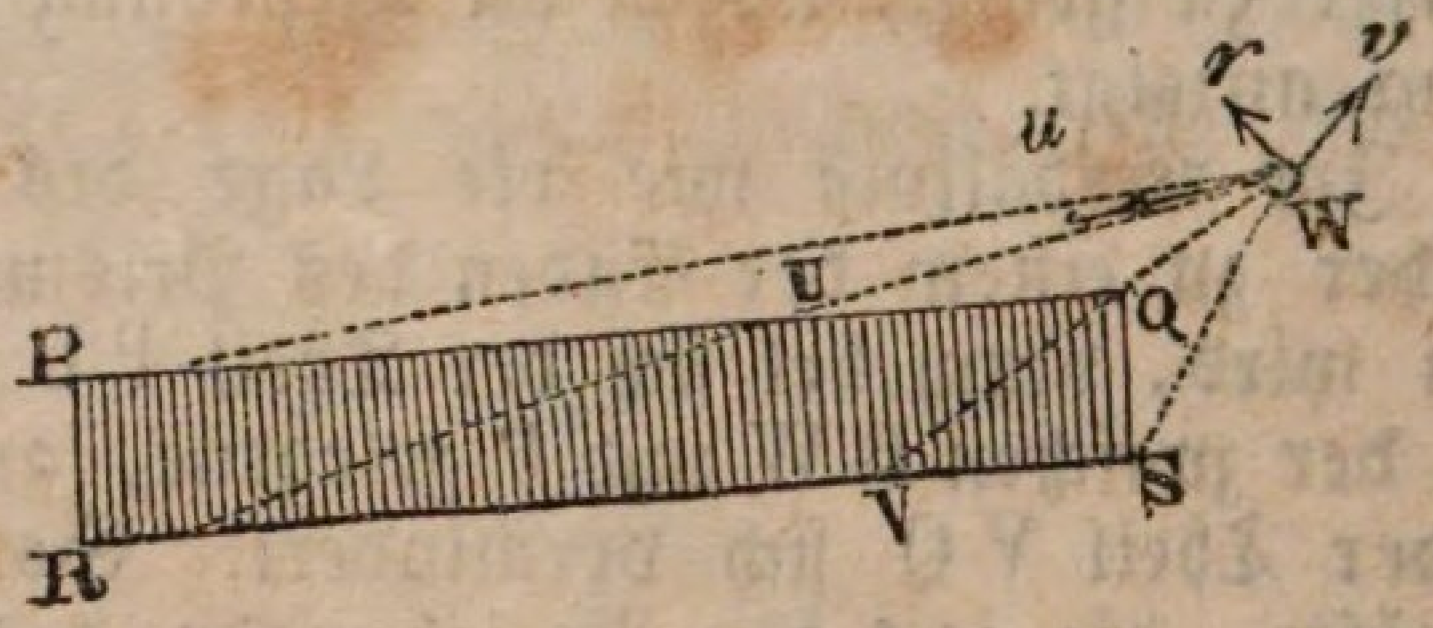


Fig. 143.

243. Wenn W in der Verlängerung der Achse des Prisma liegt, wie in Fig. 144, so wird es durch das Ganze der Strömungen in der Seite PQ angezogen und durch das Ganze der in RS abgestoßen; das erstere läßt die Kraft Wu das letztere die Kraft Wv entstehen, und die Resultante ist Wr.

Fig. 144.

244. Wenn W in der Lage Fig. 145 ist, so werden die Strömungen zwischen V und S durch die zwischen P und U neutralisirt. Die zwischen R und V stoßen W in der Richtung Wv ab, während die zwischen U und Q in der Rich-

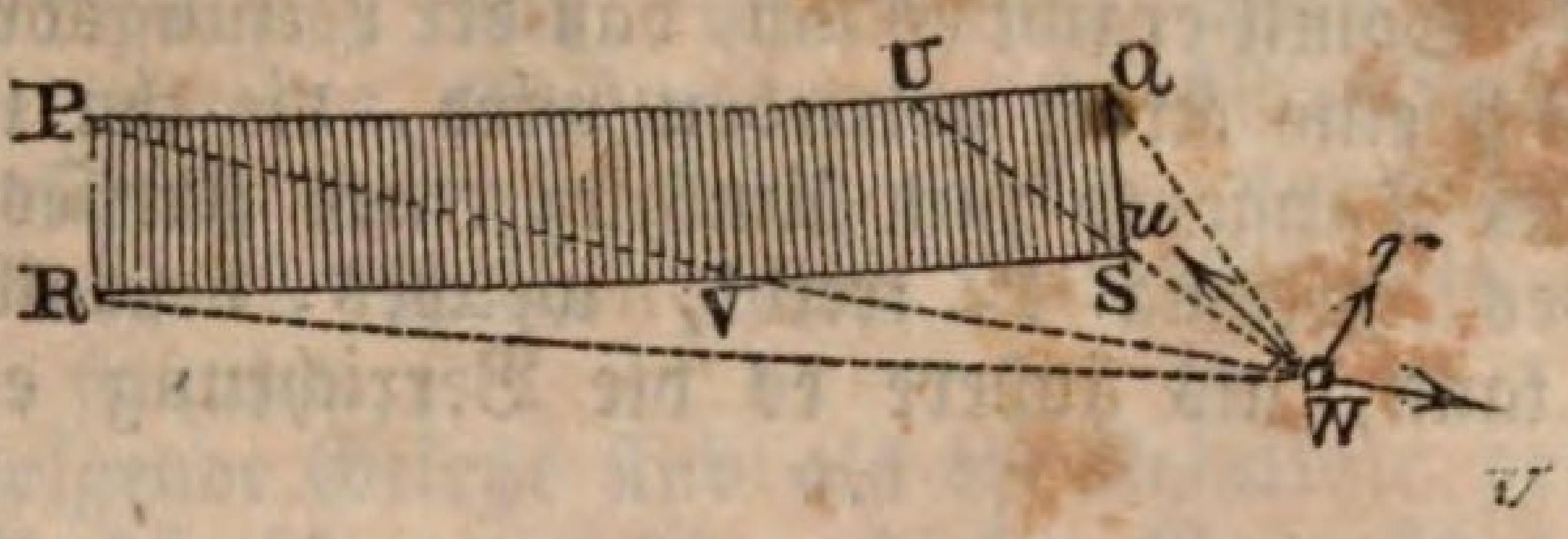


Fig. 145.

tung W u anziehen, Kräfte, welche die Resultante W r erzeugen.

245. Liegt W in der Verlängerung der Linie QS, Figur 146, so werden die Strömungen zwischen P und Q neutralisirt durch die zwischen V und S, und die einzigen wirksamen Ströme sind die zwischen RV; da dieselben abstoßend sind, so liegt die Resultante in der Richtung Wr.

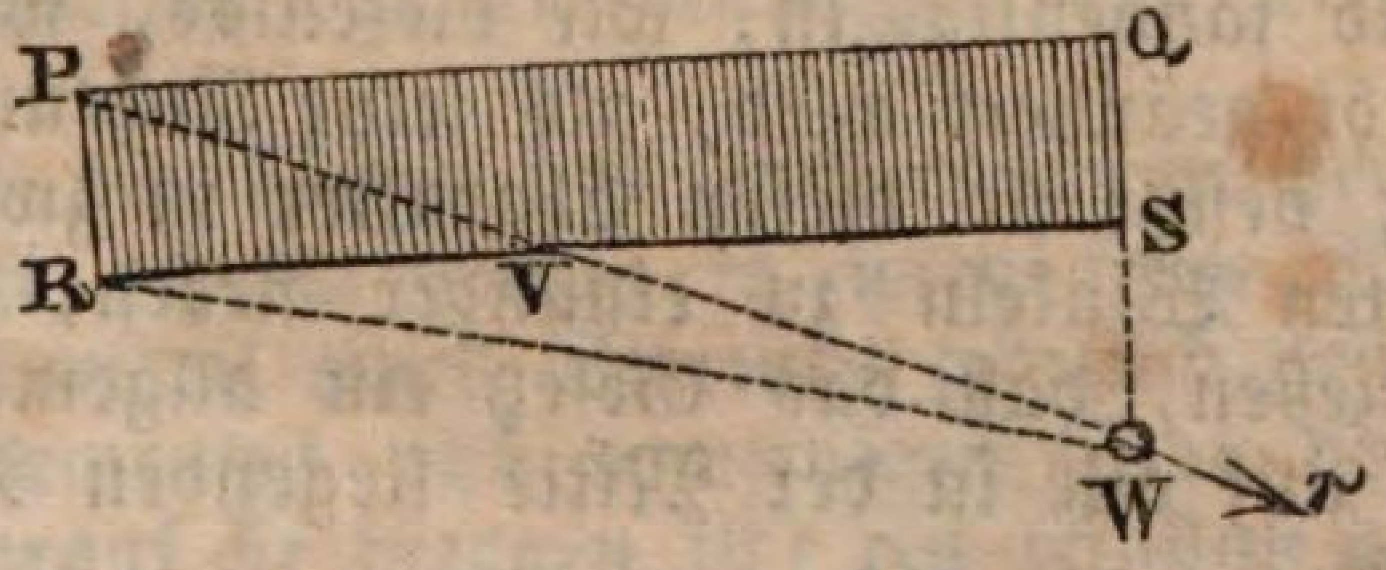


Fig. 146.

246. Wenn die Lage von W die, wie Fig. 147, ist, so bestehen die thätigen Theile des Stromes in denen, welche die Räume RU und VS einnehmen; da beide abstoßend sind und in den Richtungen W u und W v wirken, so erzeugen sie die Resultante W r.

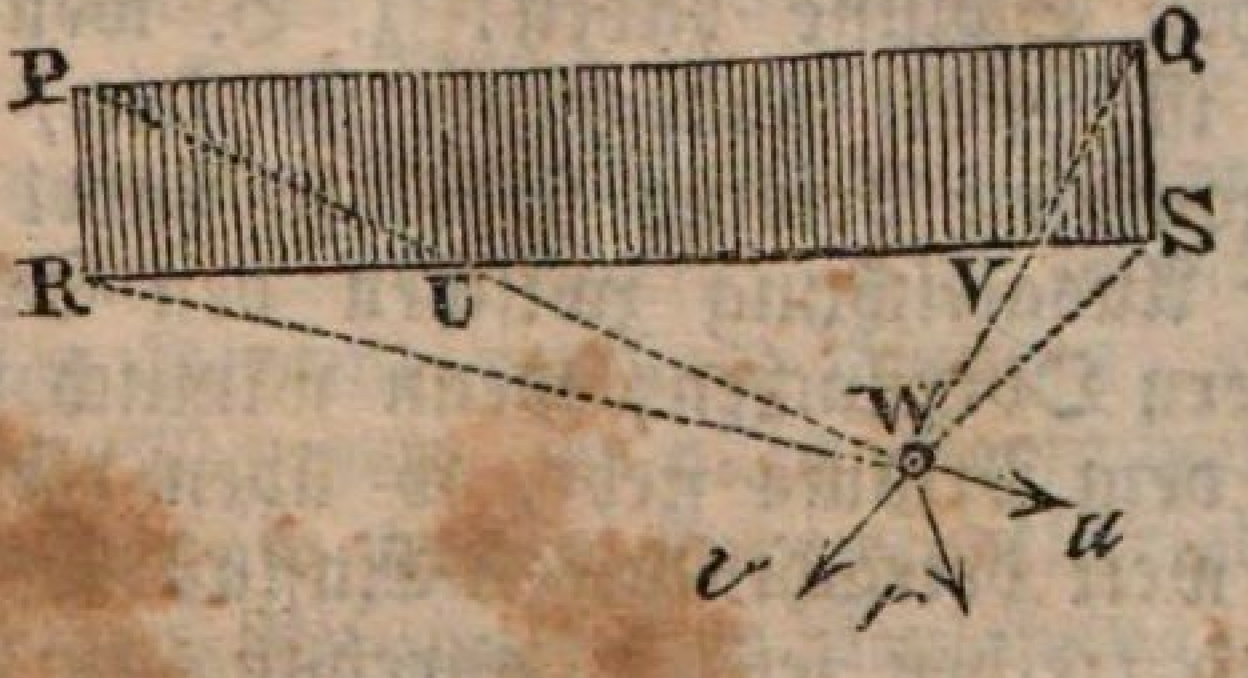


Fig. 147.

247. Somit ergibt es sich, daß der Leitungsdraht in jeder Lage durch eine Kraft getrieben wird, die ihn in der Richtung einer Tangente zum Umfang eines Kreises C um das Ende des Prisma P treibt, welches deßhalb betrachtet werden kann, als äußere es die Verrichtung eines Poles;

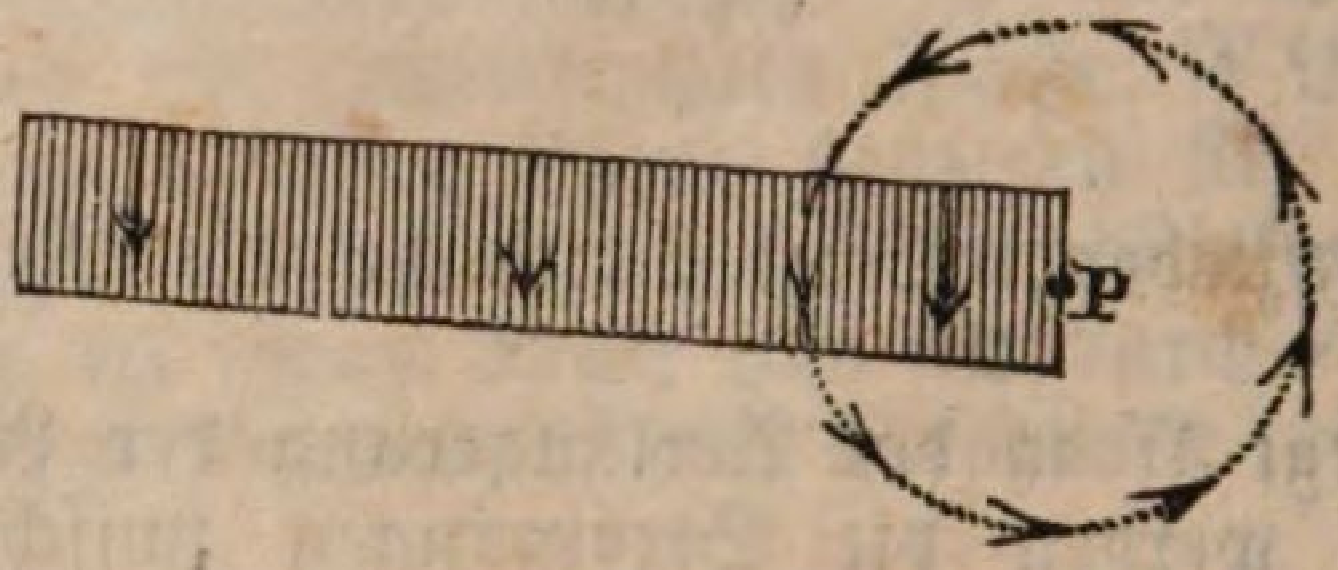


Fig. 148.

die so anziehende Kraft besitzt denselben Charakter, daß sie drehend und tangential ist, wie diejenige, welche auf denselben Draht geäußert wird, als seine Richtung parallel zur Achse war; besitzt sie diesen Charakter in zwei Richtungen, die in rechten Winkeln zu einander stehen, so kann man daraus schließen, daß das Gesetz ein allgemeines ist, und daß es sich auf alle in der Mitte liegenden Neigungen anwenden läßt.

248. Die gegebene Erklärung wird genügend sein, um eine allgemeine Vorstellung von der Anwendung der Theorie auf eine besondere Erscheinung zu geben. Der Gegenstand ist aber mit aller strengen mathematischen Analyse verfolgt, und die Resultate mit aller Genauigkeit bestimmt worden, welche zu Vergleichen und wirklichen Versuchen nur erheischt werden kann. Wir haben absichtlich mehre der kleinen Einzelnheiten hier übergangen, welche mit unserem Zweck, eine allgemeine Uebersicht zu veranlassen, nicht verträglich sind, und welche auch keinen wesentlichen Einfluß auf die endlichen Schlüsse haben, z. B. wenn ein gerader Leiter begrenzt ist, statt unbegrenzt zu sein, und gänzlich über dem horizontalen Prisma steht, so findet sich nicht länger die genaue Ausgleichung zwischen den Strömen in den obern und untern Oberflächen; wenn nämlich der Leiter unmittelbar über dem Prisma steht, so üben die oberen Strömungen einen weit beträchtlicheren Einfluß darauf aus, wie die unteren und treiben seine Umdrehung in derselben Richtung an, worin er sich wegen der Richtung anderer wirken-

den Kräfte bewegte. Am entferntesten Theil des Kreises kommen die unteren Ströme mehr in Wirksamkeit, weil sie weniger schräg wie die oberen wirken, und tragen ihrerseits dazu bei, die Neigung zur Umdrehung in derselben Richtung zu steigern.

249. Folgende Gesetze sind als die Resultate der mathematischen Nachforschungen über diesen Gegenstand erlangt worden.

1) Die Wirkung eines sehr dünnen elektrodynamischen Cylinders auf den Elementartheil eines Stromes läßt sich in zwei Kräfte auflösen, die in Richtungen senkrecht zur Richtung des Stromes und auch senkrecht zu den Linien wirken, die von ihm auf jedes Ende der Achse des Cylinders gezogen werden; jede dieser Kräfte verhält sich umgekehrt wie die Quadrate dieser Entfernungen.

2) Die Wirkung eines elektrodynamischen Cylinders auf einen unbegrenzten Leiter senkrecht zu seiner Achse läßt sich in gleicher Weise auf zwei Tangentialkräfte wie im früheren Fall zurückführen; diese Kräfte aber stehen im einfachen umgekehrten Verhältniß der Entfernungen von den Enden des Cylinders.

3) Wenn die Länge des elektrodynamischen Cylinders als unbegrenzt gedacht wird, so wird seine Wirkung auf einen Elementartheil eines Stromes gänzlich von den Stellungen des Elementes und demjenigen Ende des Cylinders abhängen, worauf sie bezogen ist; ein Einfluß der Lage der Achse des Cylinders findet nicht statt.

4) Die Wirkung dieses Cylinders auf Leiter, von welcher Größe und Form dieselben sein mögen, ist denselben Bedingungen unterworfen, da sie allein von der Lage desjenigen Endes abhängig ist, welches auf den Conduktor bezogen wird; sie bleibt dieselbe, von welcher Art auch die Richtung der Achse des Cylinders sein mag.

250. Die so aus der Beobachtung abgeleiteten Schlüsse zeigen zugleich mit den Folgerungen aus der Theorie die stärkste Aehnlichkeit und beinahe vollkommene Gleichheit zwischen der Wirksamkeit elektrodynamischer Cylinder und der von Magneten. Das Gesetz ihrer Wirkung auf einen elektrischen Strom unter Rückwirkung des letzteren auf beide ist genau dasselbe in solcher Weise, daß, wenn wir über genügend kräftige Ströme verfügen könnten, elektrodynamische Cylinder durch Magnete in allen Versuchen ersetzt werden könnten, die wir im letzten Kapitel beschrieben haben, und daß wir dieselben Resultate der Anziehung, Abstoßung und Umdrehung von ihnen erlangen würden. Die zwei Enden

eines elektrodynamischen Cylinders zeigen alle Eigenschaften der Pole eines Magnetes; dasjenige Ende, worin der Strom positiver Elektrizität sich in einer Richtung ähnlich den Bewegungen eines Uhrzeigers bewegt, wirkt als der Südpol eines gemeinen Magneten; das andere Ende, worin sich der Strom in entgegesetzter Weise bewegt, äußert eine nördliche Polarität.

251. Man kann aus der bekannten Aehnlichkeit zwischen der Wirkung elektrodynamischer Cylinder und der Magnete auf elektrische Strömungen leicht begreifen, daß zwei solcher Cylinder ebenso auf einander einwirken wie Magnete. Die Theorie bestätigt die Genauigkeit dieses allgemeinen Schlusses. Folgendes ist nämlich das Gesetz, wohin uns mathematische Untersuchung führt, nämlich daß die gegenseitige Wirkung zweier elektrodynamischer Cylinder sich immer durch vier Kräfte darstellen läßt, welche die Richtung der Linien von jedem Ende des einen zu beiden Enden des andern haben und aufeinander in gegenseitigem Verhältniß der Quadrate dieser Linien stehen, vorausgesetzt, diese Entfernungen sind nicht außerordentlich klein.

252. Die gegenseitige Wirkung der elektrodynamischen Cylinder und Magnete ist dieselbe wie zweier Magnete, so daß man bei jedem Versuch den einen an die Stelle des andern, ohne die Natur des Ergebnisses zu ändern, setzen kann.

Zwölftes Kapitel.

Theorie des Elektromagnetismus.

§. 1. Elektromagnetische Theorie Oersted's.

253. Die Entdeckung der merkwürdigen Erscheinungen des Elektromagnetismus veranlaßte natürlich eine Menge Vermuthungen über deren Erklärung. Oersted nahm die Theorie zweier elektrischer Flüssigkeiten an, welche durch ihre Vereinigung eine Neutralflüssigkeit bilden, und erst nach der Zersetzung ihr Vermögen zeigen; somit dachte er sich, eine besondere Klasse Wirkungen äußere sich während ihrer Vereinigung, welche nicht allein sich durch mechanische Bewegungen unter den Theilchen des Körpers durch Erzeugung des Schalls, durch Entwicklung von Licht und Entbindung von Wärme, sondern auch durch Störung des magnetischen Gleichgewichtes sich darthue. Diese Erscheinungen schienen das Eintreten großer und plötzlicher Veränderungen in den Zuständen zweier gewaltiger Wirkungsmittel im Augenblick ihrer Vereinigung anzuzeigen und gaben Oersted den Gedanken ein, daß etwas Aehnliches wie ein Schlag stattfinde, wenn die Flüssigkeiten aus der Entfernung zusammenstoßen. Da die Trennung der zwei elektrischen Flüssigkeiten während galvanischer Wirkung ohne Unterbrechung in einem Theil der Vorrichtung vor sich geht, und da ihre Wiedervereinigung in gleicher Weise bei fortwährender Aufeinanderfolge die leitenden Körper der Kette entlang bewirkt wird, so dachte er, daß eine fortgesetzte Reihe elektrischer Schläge in der ganzen Linie der Leiter statthat, ein Zustand, den er elektrischen Conflikt nannte.

254. Sind diese Ansichten richtig, so folgt daraus, daß die elektrischen Flüssigkeiten, die isolirt, mögen sie in Ruhe oder in Bewegung sein, keinen erkennbaren Einfluß auf magnetische Körper haben, während ihres Conflikts das Vermögen, Einfluß auf den Körper zu üben, erlangen.

Diese Vermuthung ward von Oersted mit folgenden Worten ausgedrückt: „Der elektrische Conflikt wirkt allein auf die magnetischen Theilchen der Materie, aber nichtmagnetische Körper scheinen für den elektrischen Conflikt durchdringbar, während magnetische, oder vielmehr deren magnetische Theilchen dem Durchgang des Conflikts widerstehen. Deßhalb können sie durch den Anstoß widerstreitender Kräfte bewegt werden. Es ist zur Genüge klar, daß der elektrische Conflikt nicht auf den Leiter beschränkt, sondern ziemlich weit in dem umliegenden Raume zerstreut ist. Wir können gleicherweise schließen, daß dieser Conflikt Kreise bildet, denn ohne diese Bedingung scheint es unmöglich, daß ein Theil des Schließungsdrahtes, unter den magnetischen Pol gestellt, ihn nach Osten treibt, und wenn er darüber gestellt ist, ihn nach Westen treibt (§. 13. Fig. 1 u. 2). Denn es ist die Natur eines Kreises, daß die Bewegungen in entgegengesetzten Theilen eine entgegengesetzte Richtung haben. Außerdem muß eine Bewegung in Kreisen mit einer fortschreitenden Bewegung nach der Länge des Leiters eine conchoïdische oder Spirallinie bilden; wenn ich mich nicht irre, trägt aber dies zur Erklärurg der bisher beobachteten Erscheinungen nichts bei. Alle Wirkungen des Nordpols lassen sich leicht durch die Voraussetzung erklären, daß eine magnetische Elektrizität sich in einer rechtsgebogenen Spirallinie bewegt und den Nordpol antreibt, aber nicht auf den Südpol einwirkt. Die Wirkungen auf den Südpol lassen sich in ähnlicher Weise erklären, wenn wir der positiven Elektrizität eine entgegengesetzte Bewegung und ein Vermögen, auf den Südpol einzuwirken, nicht aber auf den Nordpol, zuschreiben."

255. Die von Oersted ausgesprochenen Ansichten wurden von den Physikern ziemlich allgemein angenommen, welche den durch ihn eröffneten Weg der Entdeckung verfolgten. Der herrschende Glaube ging dahin, daß Elektrizität in Bewegungen magnetische Eigenschaften besitze, oder vielmehr dem Körper, der sie leite, eine Art Magnetismus in der Quere mittheile. Einige glaubten, daß die Wirkung der einer Reihe von Magneten gleiche, die um die Achse des Leiters in rechtem Winkel zu einander gestellt seien, indem die Pole in vier Linien zur Achse lägen und ein Quadrat wie in Fig. 149 bildeten, welche den Durchschnitt eines Leitungsdrahtes und vier Magnete mit ihren Polen n s in regelmäßiger Aufeinanderfolge zeigt. Diese Vermuthung kann auch keine getreue Darstellung der Erscheinungen sein, denn man fand durch Versuche, daß die Wirkung des Leitungs-

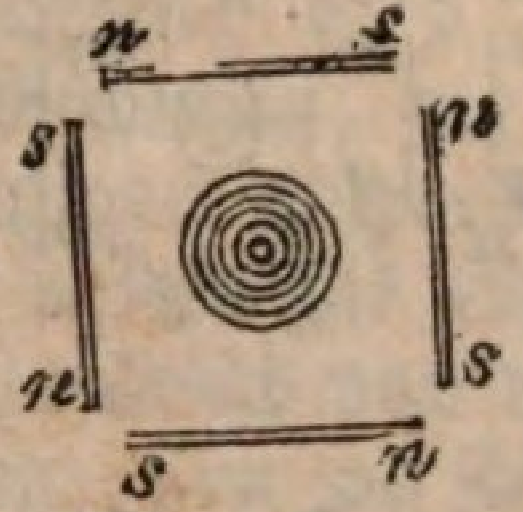


Fig. 149.

drahtes auf eine magnetisirte Nadel genau dieselbe in jedem Theil des Umfanges ist. Ist der Draht z. B. scheitelrecht, so ist seine Wirkung dieselbe in allen Azimuthen und hat keinen Bezug auf rechtwinkliche Flächen, welche durch die Achsen des Drahtes hindurch gehen.

256. Mit dieser Verbesserung wird die Vermuthung, daß ein Leitungsdraht in solcher Weise wirkt, als sei eine Reihe kleiner Magnete in seinem Umfang mit einander entgegenliegenden ungleichen Polen gestellt, uns eine Menge von Erscheinungen erklären. Sie erklärt, weßhalb eine Compaßnadel ihre besondere Stellung im rechten Winkel zur Achse des Drahtes durch den Leitungseinfluß des besonderen Theiles der gedachten Reihe von Magneten annimmt, welcher der nächste zur Nadel ist (Fig. 150) und auch die gegenseitige Anziehung zwischen der Nadel und dem Draht unter diesen Umständen.

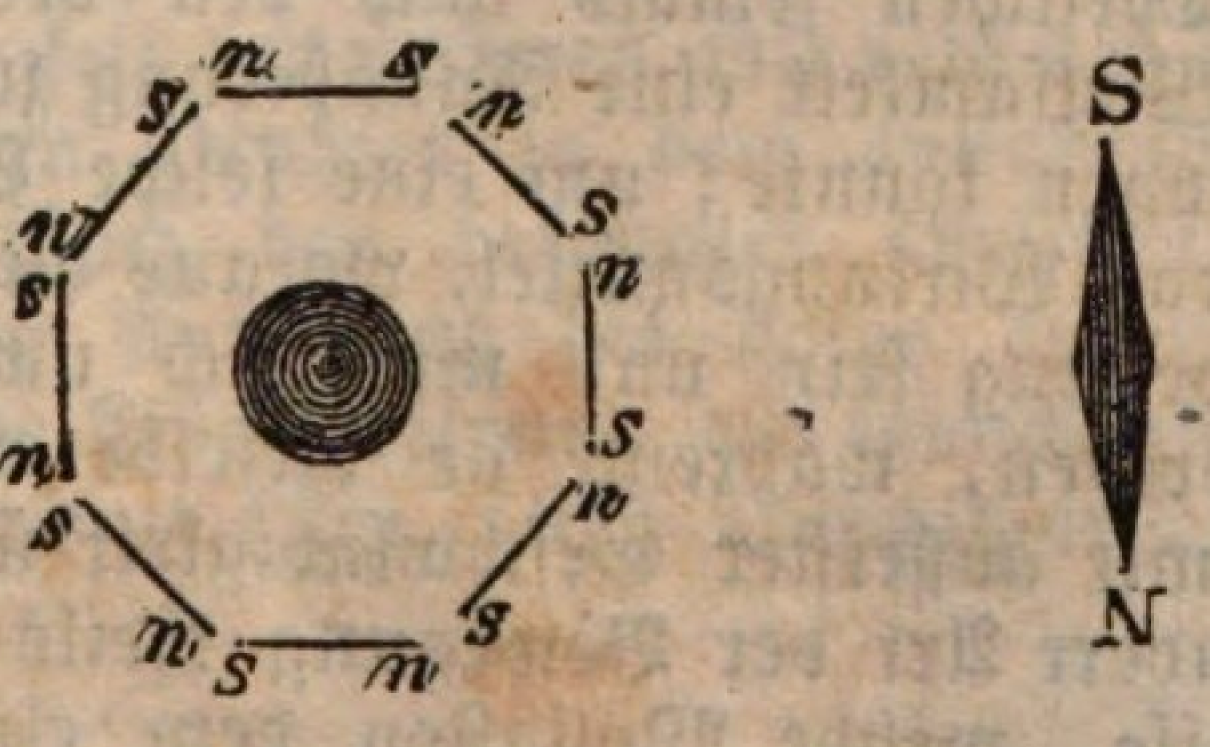


Fig. 150.

Sie erklärt auch die andere zum Grunde liegende Thatsache, nämlich die gegenseitige Wirksamkeit zwischen zwei Leitungsdrähten; wenn nämlich die Ströme in derselben Richtung in beide Drähten wie in A und B Fig. 151 gehen, so werden

Fig. 151.

die Polaritäten der kleinen Magnete auf den einander nahe liegenden Seiten umgekehrt sein und sie werden folglich einander anziehen. Das Gegentheil wird stattfinden, wenn die Strömungen in entgegengesetzten Richtungen in den zwei Drähten gehen, wie in A und C; denn alsdann sind die Polaritäten der Magnete, die zu einander gehören, in der Art gleich und stoßen deßhalb einander ab.

257. Eine Klasse Erscheinungen jedoch läßt sich durch diese Vermuthung nicht erklären, nämlich diejenigen, welche die drehenden Bewegungen der Magnete oder Leiter umfaßt, welche Bewegungen sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit erhalten lassen, ungeachtet der Hemmung durch Reibung oder der Hindernisse eines Widerstand leistenden Mittels, und welche wirklich das außerordentliche Schauspiel einer fortwährenden Bewegung zeigen. Die Vermuthung einer Reihe von Magneten um den Leitungsdraht kann diese fortgesetzte Bewegung nicht erklären, denn es ist gewiß, daß keine wirkliche Verbindung von Magneten, noch auch eine denkbare Anordnung magnetischer Theilchen jemals nach den bekannten Gesetzen magnetischer Wirksamkeit eine Annäherung zur fortwährenden Drehung erzeugen könnte; um eine solche Bewegung zu erhalten, muß das Wirkungsmittel, woraus die Kraft ausfließt, selbst in Bewegung sein und muß sich um die Achse des Drahtes umdrehen, während sie dieselbe von einem Ende zum andern mit äußerster Geschwindigkeit überliefert. Dies war die besondere Art der Bewegung theils der Länge nach, theils im Kreise, welche Wollaston dem elektromagnetischen Wirkungsmittel zuschrieb, und die er wirbelnde oder wirbelartige (vertiginöse) Bewegung nannte.

258. Eine weitere Berichtigung muß also in der Vermuthung gemacht werden, um sie an die Erscheinungen anzupassen, indem man annimmt, daß die zwei magnetischen Flüssigkeiten, welche die elektrischen Flüssigkeiten begleiten, wenn die letzteren in Bewegung und in einem Zustande des

Conflikte̊s sind (um Oersteds Ausdruck zu gebrauchen), eine wirbelartige Bewegung in entgegengesetzten Richtungen quer zur Achse des Leiters erhalten, d. h. die nördliche Flüssigkeit würde sich in einer Richtung, die südliche in der andern bewegen; diese Bestimmungen würden ihnen durch die Richtungen gegeben werden, worin die elektrische Flüssigkeit sich im Leiter bewegt, welche natürlich von den Stellungen der Pole der Volta'schen Vorrichtung, von wo sie ausgehen, abhängen. Aus dieser besonderen Bewegungsweise werden sich nicht allein alle Wirkungen ergeben, die wir so eben als Folge ruhender Kreise der Magnete gesehen haben, sondern auch diejenigen einer drehenden Natur, welche nur ein sich bewegendes Wirkungsmittel erzeugen könnte. Die Tangentialwirkung eines Leiters auf einen Magnet ist eine nothwendige Folge der Querbewegungen magnetischer Flüssigkeiten in dem Leiter und die Umdrehung eines magnetischen Poles um diesen Leiter oder umgekehrt. Die Umdrehungen eines Leiters um einen Magnet sind ebenfalls Erscheinungen, die sich als natürlich aus dem wirbelartigen Umlauf der zwei Flüssigkeiten ergeben.

259. Die gegenseitigen Anziehungen und Abstoßungen paralleler Leiter sind, wie in dem früheren Fall, auf die Wirkung paralleler Magnete bezogen, die ihre Pole in derselben oder in entgegengesetzter Richtung haben. Wenn z. B. der elektromagnetische Strom sich in derselben Richtung in zwei parallel leitenden Drähten bewegt, so wird der Strom der südlichen magnetischen Flüssigkeit, der einem Draht angehört, in derselben Richtung fließen, wie der der nördlichen, die zum andern Draht gehört in denjenigen Theil, welcher daran stößt, und andererseits wird die Richtung der nördlichen Flüssigkeit des ersteren mit dem der südlichen Flüssigkeit des letztern Drahtes in dem anstoßenden Theil zusammenfallen. Nach den bekannten Gesetzen magnetischer Wirksamkeit muß Anziehung die Folge dieser Dinge sein, oder die nördliche Flüssigkeit und die südliche ziehen einander an. Wenn W und w (Fig. 152) Durchschnitte der Leitungs-

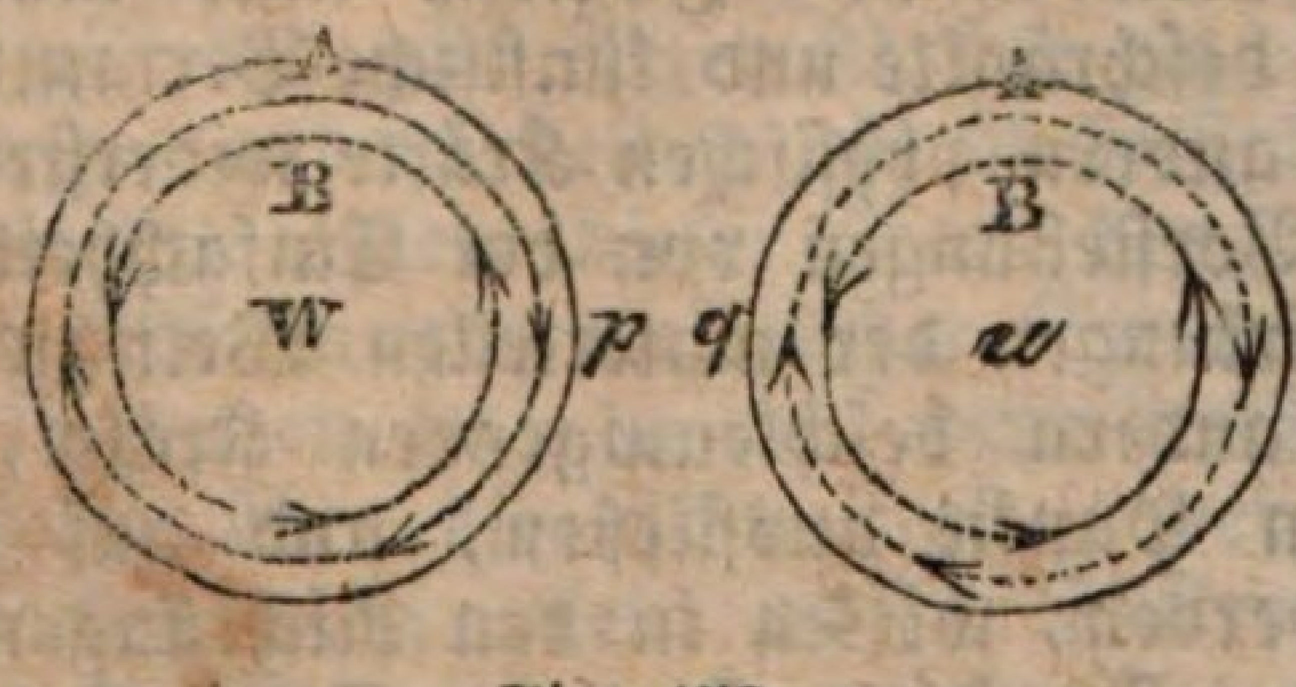


Fig. 152.

drähte darstellen, in welchen beiden der Strom der positiven Elektrizität absteigt, so werden die Pfeile im Umfang der äußern punktirten Kreise A A die Richtungen anzeigen, worin die südliche magnetische Flüssigkeit auf der Oberfläche der Drähte umläuft; die auf den innern Kreisen BB zeigen die Richtungen, worin die nördliche Flüssigkeit umläuft. Man wird sehen, daß die südliche Flüssigkeit in den Theilen p und q, wo sie einander am nächsten sind, sich in derselben Richtung bewegt, wie die nördliche im andern, und wir können deßhalb erwarten, daß sie einander anziehen.

260. Bewegen sich die elektrischen Ströme in entgegengesetzten Richtungen in den zwei Drähten in ähnlicher Weise wie Figur 153 dargestellt ist, so werden entgegengesetzte Wirkungen folgen, denn in dem Fall bewegen sich beide Ströme südlicher Flüssigkeit in derselben Richtung in den anstoßenden Theilen des Drahtes und müssen folglich einander abstoßen und dasselbe ereignet sich in Bezug auf die Ströme nördlicher Flüssigkeit, welche in einer der südlichen Flüssigkeit entgegengesetzten Richtung fließen.

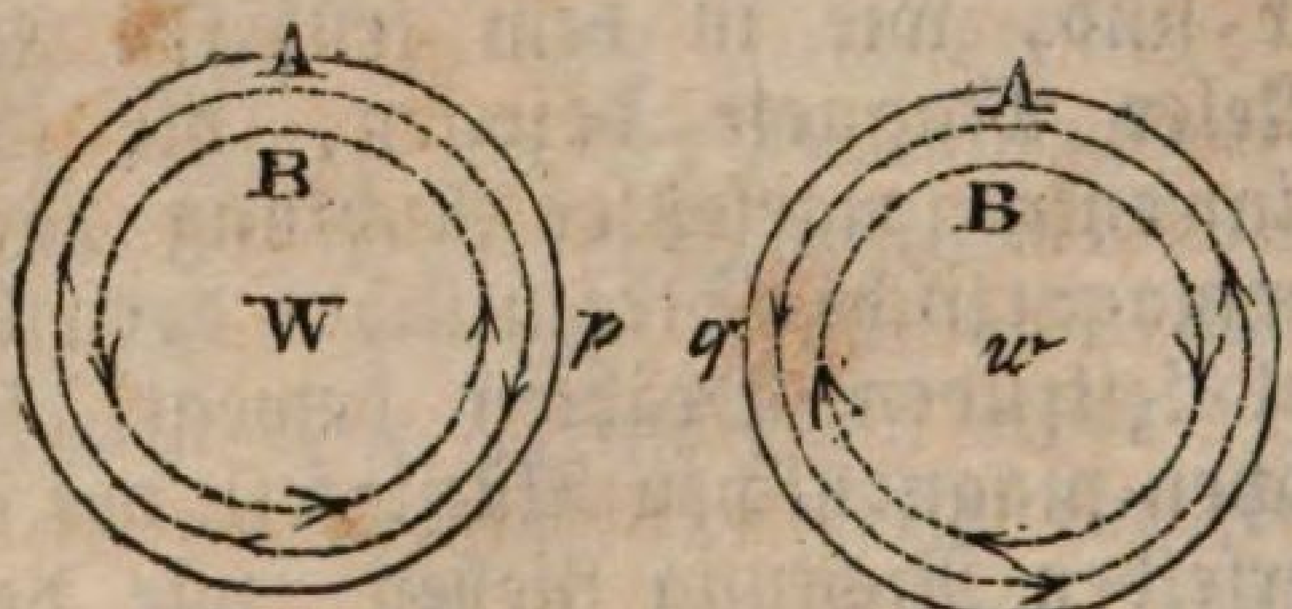


Fig. 153.

261. Dies also ist die Vermuthung, die nach passenden Verbesserungen mit den Erscheinungen in Einklang gesetzt worden ist, und die man als eine passende Darstellung derselben annehmen kann. Zugleich muß man zugestehen, es sei eine sehr beschränkte und künstliche Vermuthung, die der Analogie aller andern physischen Kräfte widerstreitet und die auch unseren Vorstellungen von der Einfachheit widerstrebt, welche alle Wirkungen der materiellen Welt zu durchdringen scheint. Alle andern beschleunigenden Kräfte, welche von einem gewissen Punkte ausfließen, und auf einen andern Punkt geübt werden, wirken in den Richtungen der Linien, welche diese zwei Punkte verbindet. Dies ist der Fall mit

der elektrischen und mit der magnetischen Wirksamkeit in allen Fällen, welche ausschließlich der einen oder der andern dieser zwei Klassen von Erscheinungen angehören. Wenn zwei Leitungsdrähte, in Schraubengewinde gebogen, auf einander einwirken, wie dies in einer Weise der Fall ist, welche ziemlich genau die gegenseitige Wirkung zweier Magnete nachahmt, so ist die Wirkung rein elektrisch und äußert sich in den Richtungslinien, welche die wirkenden Punkte verbinden. Dasselbe ist mit zwei Magneten der Fall, wenn Magnetismus allein betheiligt ist. Wenn aber ein Schraubengewinde und ein Magnet auf einander einwirken, und dieselben Erscheinungen, wie in einem der vorhergegangenen Fälle zeigen, so weist die Theorie eine Tangentialrichtung den Kräften an, die alsdann in Thätigkeit berufen sind. Der Umstand, daß eine Wirkungsweise, die im Fall rein elektrischer oder magnetischer Wirkung einfach und verständlich ist, sich so plötzlich und vollständig verändern sollte, wenn die elektrischen und magnetischen Flüssigkeiten auf einander einwirken, müßte eine sonderbare und kaum verständliche Unregelmäßigkeit in der Physik sein.

262. Wir können alle diese Schwierigkeiten umgehen, wenn wir die von Ampere aufgestellte Theorie annehmen, die sowohl durch Versuche, wie durch mathematische Untersuchungen bekräftigt ist. Von dieser Theorie geben wir einen kurzen Bericht.

Elektrodynamische Theorie Ampere's.

263. Die auf die Wissenschaft des Elektromagnetismus bezüglichen Erscheinungen lassen sich in drei Klassen einreihen; die erste ist die Entwicklung einer Tangential- und Umdrehungskraft zwischen einem leitenden Körper und einem Magnet; die zweite ist die schräge Einführung des Magnetismus durch die erstere in solche Körper, welche zur Aufnahme empfänglich sind; die dritte ist die Anziehungs- und Abstoßungskraft zwischen zwei elektrischen Strömen, die verschiedene Leiter durchziehen. In der schon dargelegten magnetischen Theorie gilt die erste dieser Klassen als die allgemeinste Thatsache und die andern beiden als bloße Folgen. Ampere dagegen nimmt die letztere dieser Thatsachen, d. h. die Anziehungen und Abstoßungen elektrischer Strömungen, als die zum Grunde liegenden an, worauf vermittelst einer besondern Vermuthung über die Beschaffenheit der Magnete alle andern Thatsachen nicht allein dieses Elektromagnetismus, sondern auch des Magnetismus zurückzuführen sind.

264. Seine Vermuthung geht dahin, daß alle Körper mit magnetischen Eigenschaften, mit Einschluß der Erdkugel, diese Eigenschaft von Elektrizitätströmungen erhalten, welche fortwährend unter den Theilen, woraus sie bestehen, umlaufen, und welche in Bezug auf die Achsen dieser Körper eine gleichförmige Richtung der Umdrehung in Flächen haben, welche zu diesen Achsen senkrecht stehen.

265. Die auffallende Aehnlichkeit, welche zwischen der Wirkung der Magnete und der von elektrodynamischen Cylindern stattfindet, und welche sich auf einen weitern Kreis von Erscheinungen ausdehnt, gab als sehr natürlich die Vermuthung ein, worauf diese Theorie begründet ist; da nämlich die runden Strömungen in letzteren Wirkungen erzeugen, die denen der magnetischen Polarität ähnlich sind, so ist es nur eine Ausdehnung der Analogie, betrachtet man einen Magnet, als leite er seine Eigenschaften von ähnlichen Strömungen ab, die fortwährend in seiner Substanz umlaufen.

266. In dem von uns gegebenen Bericht vom Magnetismus wird man gesehen haben, daß der Bruch eines Magnetes uns zu der Annahme zwingt, magnetisirtes Eisen sei eine Anhäufung kleiner Eisentheilchen, wovon ein jedes die besondere Eigenschaften eines Magnetes hat. In gleicher Weise muß die so eben angegebene Vermuthung in Bezug auf den Umlauf elektrischer Ströme in der Substanz eines Magnetes, eine ähnliche Veränderung, wie die in der Theorie des Magnetismus gegebene enthalten. Da die von einer Magnetstange getrennten Theilchen selbst vollkommene Magnete sind, so muß man sich die elektrischen Ströme, von welchen sie ihre Eigenschaft erhalten, als um jedes dieser Stücke besonders umlaufend denken, oder vielmehr um die Theilchen, die kleiner sind, wie irgend einer, den man durch mechanische Theilung erhalten kann. Jedes Theilchen oder magnetische Element läßt sich als eine Volta'sche Kette bildend denken, die einer Volta'schen Säule entspricht, deren zwei Enden durch Leiter verbunden sind; die Flüssigkeit der Glas- und Harzelektrizität an einem Punkte der Kette getrennt, würde in entgegengesetzten Richtungen um das Theilchen laufen, bis sie sich wieder begegnen und durch ihre Vereinigung wieder eine neutrale Flüssigkeit bilden. Die Art dieses Umlaufs ist Figur 154 dargestellt; V und R zeigen die Wege der Glas- und Harzelektrizität an, die vom Punkt E im Eisentheilchen B ausgehen und in den Richtungen fließen, welche die Pfeile anzeigen, bis sie sich begegnen und an der entgegengesetzten Seite wieder zusammenkommen. Da aber die Wirkungen der einen Flüssigkeit genau das Gegentheil

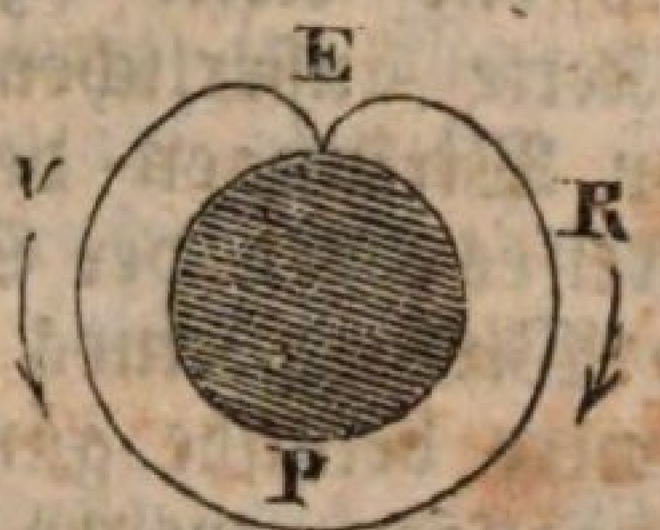


Fig. 154.

von der andern sind, so ist das Resultat dem fortgesetzten Umlauf einer der Flüssigkeiten z. B. der Glaselektrizität in einer beliebenden Richtung E V P R gleich.

267. Ein Magnet also ist zu betrachten, als bestehe er aus einer Anhäufung paralleler Fasern, wovon eine jede aus einer Reihe Theilchen besteht, um welche die elektrischen Ströme in der beschriebenen Weise, sämmtlich in derselben Richtung in Bezug auf die Achse der Fasern fließen, und sich in Ebenen senkrecht zu dieser Achse bewegen. Das Ende der Faser, worin der Strom positiver Elektrizität, wenn er oben ist, sich in Richtung wie der Weiser einer Uhr bewegt, hat die Eigenschaft eines südlichen Magnetpoles und umgekehrt, liegt der Faser horizontal, so daß der Nordpol nach Norden weist, so steigen die Ströme an der Westseite auf, gehen von Westen nach Osten in der oberen Oberfläche, steigen an der Ostseite ab, und kehren von Osten nach Westen in dem untern Theil zurück. Dies ist Figur 155 gezeigt, welche eine dieser Elementarmagnetfasern darstellt, indem die Ostseite dem Zuschauer zugewendet ist.

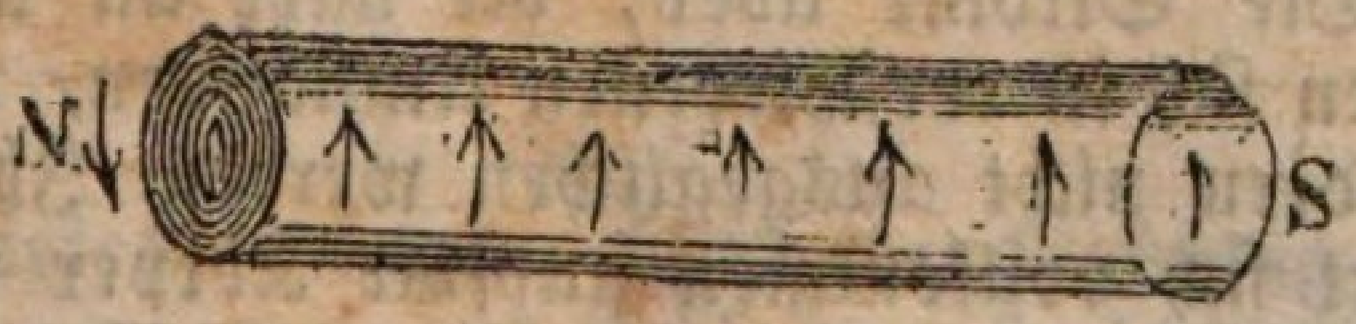


Fig. 155.

268. Diese Ströme, welche in jedem Theilchen eines Magnetes vorhanden sind, lassen sich deßhalb betrachten, als

bildeten sie eine geschlossene Kette (§. 232), deren Wirkungen auf alle der Kette äußerlichen Körper, von dem Unterschied zwischen den Wirkungen der nächsten und entferntesten Theile des Kreises, den der Strom beschreibt, abhängen. Die vereinte Wirkung eines großen Theils dieser kreisförmigen Ströme wird beinahe gänzlich von denjenigen Theilen des Stromes abhängen, welche die äußere Oberfläche der Masse einnehmen.

269. Nehmen wir an, der Magnet sei cylindrisch in der Form, und sein Durchschnitt, Figur 156 gegeben, bestehe aus dem Durchschnitt eines jeden seiner Fasern a b c d u. s. w.,

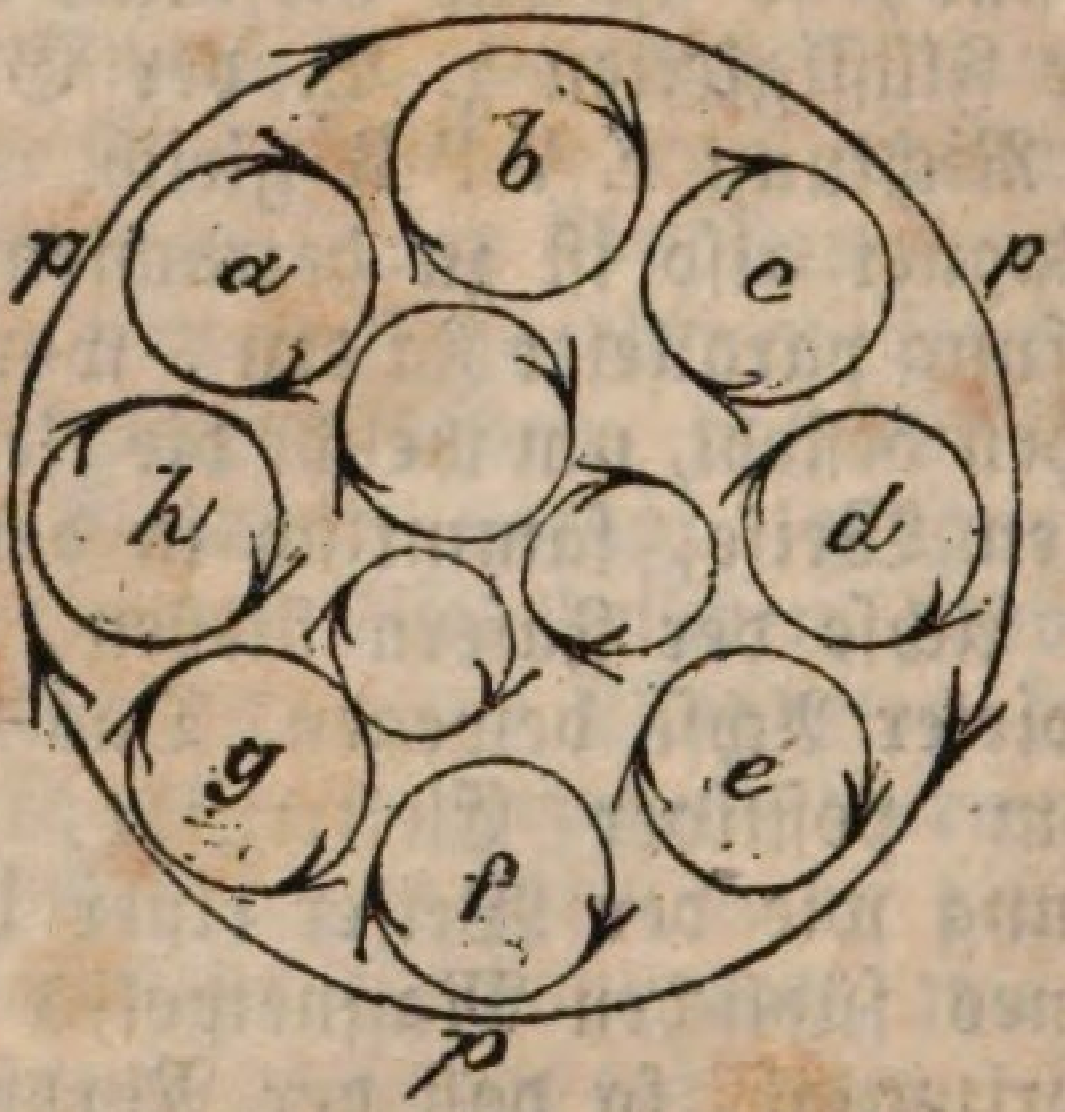


Fig. 156.

um welche die elektrischen Ströme in der Richtung, welche die Pfeile anzeigen, umlaufen, so wird es klar sein, daß die Ströme aller innern Theile beinahe, wenn nicht vollkommen, einander ausgleichen, und daß ihre Wirkung neutralisirt wird. Die Ströme aber, die nahe an Umfang umlaufen, befinden sich in verschiedenen Umständen, um so mehr, da sie von andern nicht ausgeglichen werden. Ihre Wirkung deßhalb äußert sich vollkommen auf die Körper in der Nähe und gleicht der eines kreisrunden, gleichförmig um den Umfang fließenden Stromes p p p. Wollen wir deßhalb die Wirkungen der ganzen Anhäufung anschlagen, so können wir unsere Aufmerksamkeit auf die Wirkung eines oberflächlichen Stromes beschränken.

270. Um einen genauen Vergleich zwischen der Wirkung eines Magnetes und der einer künstlichen Anhäufung elek-

trischer Ströme anzustellen, welche derjenigen ähnlich ist, die man nach der Theorie im Magnet vermuthet, müssen wir uns eine große Anzahl ähnlicher Schraubengewinde in paralleler Richtung denken und sie in eine Masse vereinigen. Ampere nennt eine solche Anhäufung ein elektrodynamisches Solenoid.

271. Die Richtung, die ein Magnet und Leitungsdraht besitzt, sich in Stellungen in rechten Winkeln zu einander zu richten, war von der elektromagnetischen Theorie als eine Folge der vermutheten Querlage magnetischer Flüssigkeiten hergeleitet, welche sich aus dem elektrischen Conflikt ergeben, d. h. welche die Bewegung der elektrischen Flüssigkeit begleiten. In Ampere's Theorie ist die Querrichtung der Wirksamkeit den Querbewegungen der elektrischen Strömungen in dem Magnete selbst zugeschrieben, die auf den Strom im Leiter einwirken, auch von dem Strome Einwirkung erhalten, und fortwährend dahin streben, einen Parallelismus zwischen beiden herzustellen. Da nun die Strömungen im Magneten N S Fig. 157, sich in senkrechten Ebenen zur Achse

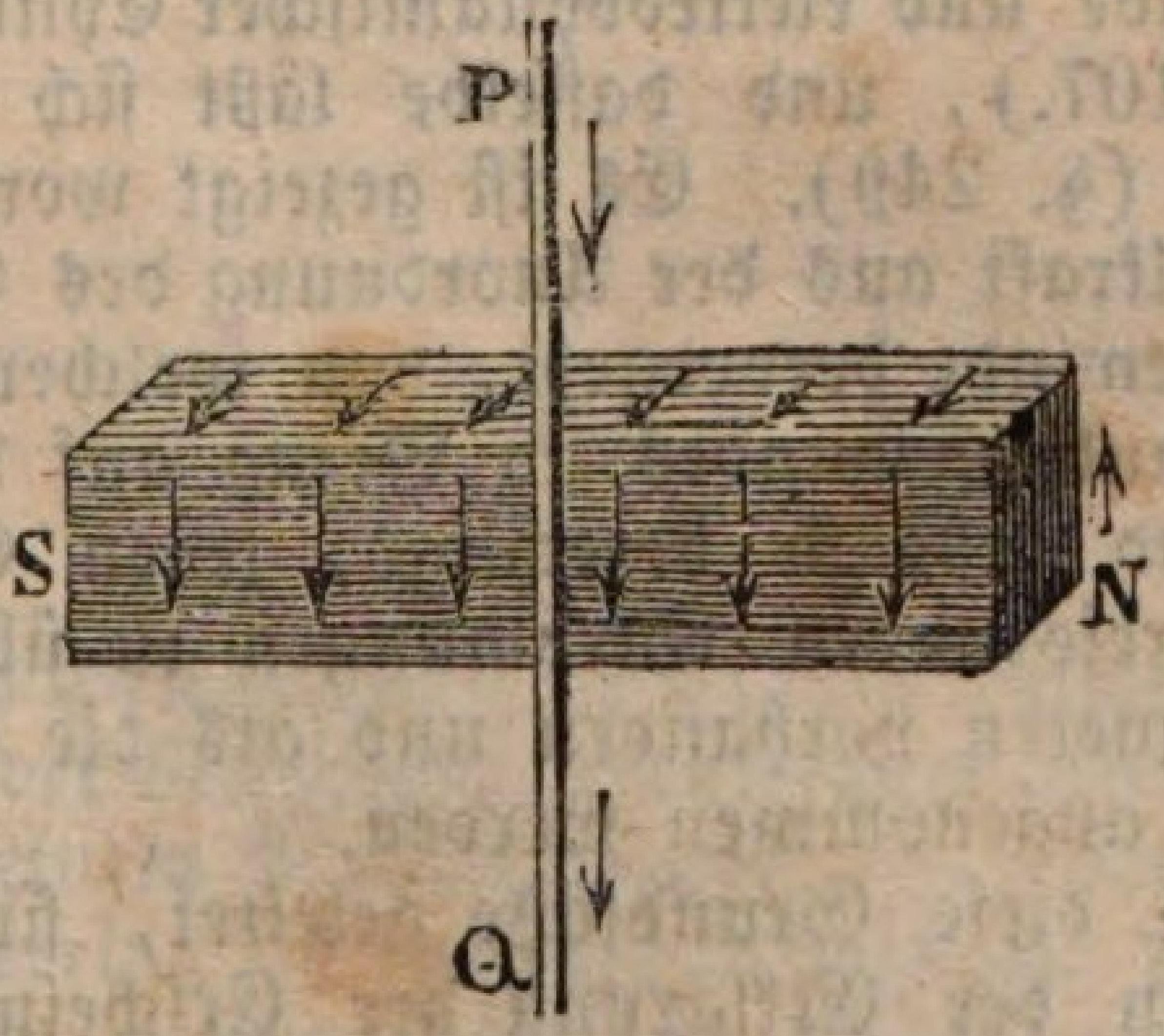


Fig. 157.

des Magnetes bewegen, so ist ihre Richtung, da sie in diesen Ebenen liegt, quer zur Achse und strebt dahin, einen graden Leitungsdraht P Q in die Querstellung zu bringen, welche die Figur darstellt, worin die Richtung des Stromes des Leiters parallel derjenigen des Stromes im nächsten Theile des Magnetes ist. Andererseits, ist der Draht fest geheftet und der Magnet beweglich, so werden die Kräfte dahin streben, die Ebenen des Stromes, welcher die Mitte des

Magnetes einnimmt, in solche Lage zu bringen, daß der gerade Leiter dadurch eingeschlossen wird; da nun die Achse des Magnetes zur Ebene senkrecht ist, so muß er auch im rechten Winkel zu dem auf ihn einwirkenden Draht kommen. Hat der Draht und der Magnet diese Stellung zu einander erlangt, so ist es klar, daß eine Anziehung zwischen ihnen stattfinden wird, da die nahen Ströme sich in derselben Ebene bei beiden bewegen. Alles dies, wie wir gesehen haben, steht in vollkommener Uebereinstimmung mit den beobachteten Erscheinungen.

272. Es ist unnöthig, die Anwendung dieser Theorie auf die endlose Menge von Fällen gegenseitiger Wirkung der Magnete und leitenden Körper zu verfolgen; da wir schon die Einzelheiten der Erklärung dieser Thatsachen durch den Grundsatz einer aus beiden wirkenden Mitteln hervorgehenden Tangentialkraft vollständig dargelegt haben, so muß daraus folgen, daß sie sämmtlich durch die elektrodynamische Theorie sich erklären lassen, ist einmal bewiesen worden, daß die Grundlage der ersteren Theorie, nämlich der Tangentialkraft an sich selbst eine unmittelbare Folge der letztern ist. Dies ist schon durch Versuche vermittelst der Schraubengewinde und elektrodynamischer Cylinder dargethan worden (Fig. 107.), und dasselbe läßt sich auch aus der Theorie folgern (§. 249). Es ist gezeigt worden, daß dieselbe Tangentialkraft aus der Anordnung des Stromes durch ein Schraubengewinde hervorgeht, von welcher Art auch die Achse des Schraubengewindes in Bezug auf den Leiter sein mag. Wir sind deßhalb berechtigt, jeden Schluß auf die Wirkung der kreisrunden Strömungen zu übertragen, wie sie als in Magneten vorhanden und als die einzige Quelle ihrer Thätigkeit angenommen werden.

273. Durch diese Grundsätze geleitet, finden wir keine Schwierigkeit in der Erklärung der Erscheinungen umdrehender Bewegungen, die so häufig sich aus der gegenseitigen Wirkung der Magnete und der Leitungsdrähte ergeben, und welche genau in derselben Weise stattfinden, wenn Schraubengewinde oder elektrodynamische Cylinder an die Stelle der Magnete gesetzt werden. Es ist jedoch belehrend, die besondern Fälle zu untersuchen, die wir zur Erläuterung der Umdrehungsneigung, die aus einer Tangentialkraft entsteht, gegeben haben, indem wir die allgemeineren Grundsätze elektrodynamischer Wirkung darauf anwenden. In manchen Fällen wird man finden, daß die Bewegungen der Umdrehung, obgleich theilweise durch die Wirkung der Strömungen im Magnete auf den Strom in dem geraden

Drahte erzeugt, in weit größerer Ausdehnung von dem Einfluß derjenigen Theile des Stromes abhängig sind, welche das Quecksilber durchziehen, in welches die Leitungsdrähte oder die Magnete eingetaucht sind.

274. Dies ist in der Fig. 158 dargestellten Vorrichtung erläutert, wo der gebogene Draht, welcher von der positiven Schale P ausgeht, mit einer Stahlspitze endigt, welche in die

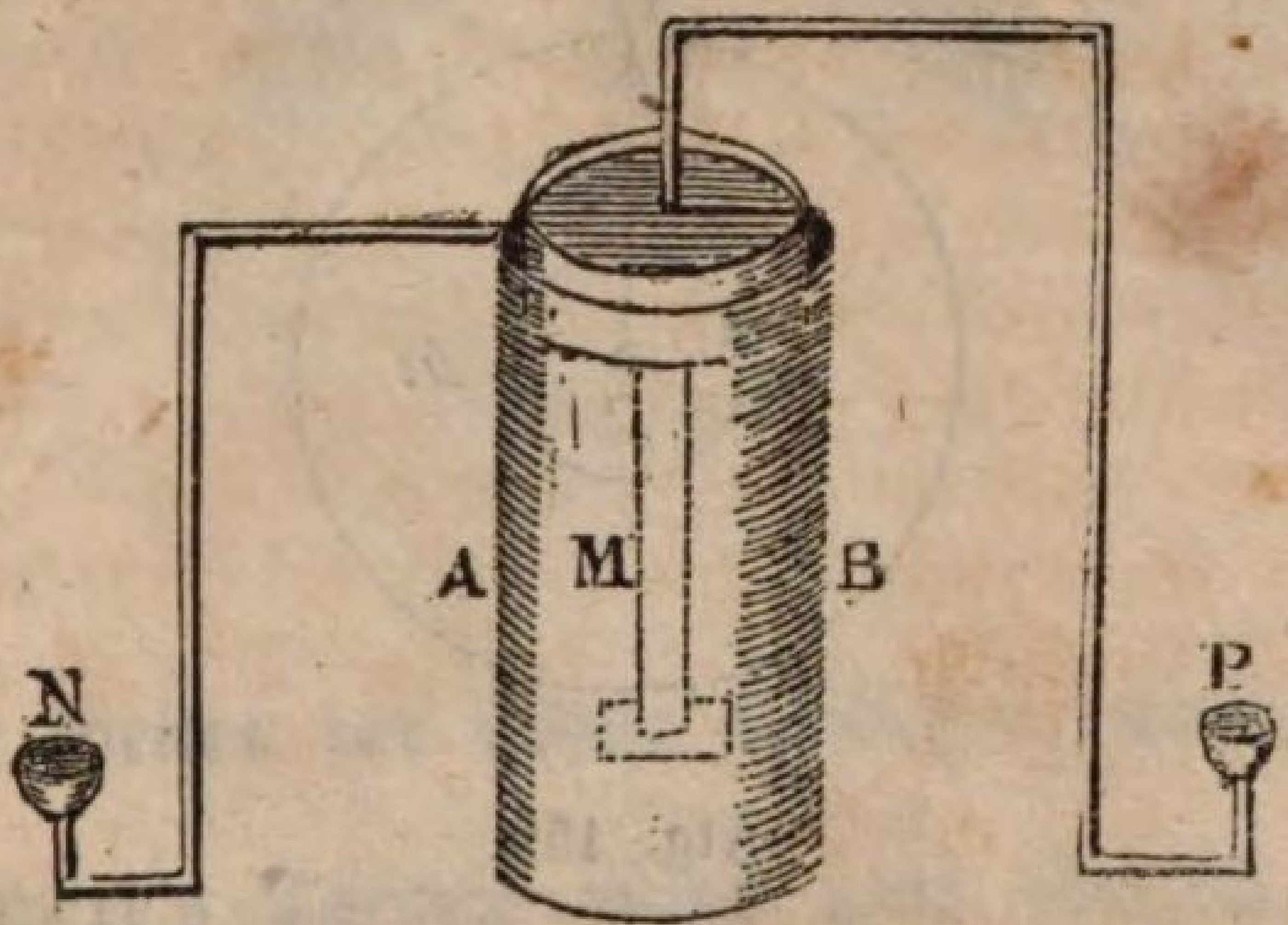


Fig. 158.

Oberfläche eines Betrags Quecksilbers im Geschirr AB eintaucht, in dessen Mitte der Magnet M in senkrechter Stellung schwimmt, indem er mit einem Platinagewicht am untern Ende beladen ist. Ein Kupferring ist auf der Oberfläche des Quecksilbers angebracht, aus dessen Seite ein Draht geht, welcher sich in der Schale N endigt. Der elektrische Strom, welcher von der Stahlspitze zum Kupferring geht, durchzieht das Quecksilber, indem er von dem Punkte wie von einem Mittelpunkte ausstrahlt, und folglich den Strömungen im Magnet unter jenen eine Neigung zur Umdrehung ertheilt. Unter diesen Umständen dreht sich der Magnet um seine Achse; eine ähnliche Wirkung aber in entgegengesetzter Richtung findet statt, wenn der Lauf des elektrischen Stromes umgekehrt ist, das Quecksilber vom Kupferringe zur Stahlspitze durchziehet, und zusammenlaufende, anstatt auseinandergehende Strömungen erzeugt. Die Erklärung dieser Erscheinungen ist deutlich, nach dem, was §. 203 und 204 dargelegt worden

ist. M, Fig. 159, zeigt eine der Strömungen am oberen Ende des Magnetes und CD einen der auseinandergehenden Ströme; alsdann wird die Wirkung des Theiles ED dahin gehen, eine drehende Bewegung des Magnetes in der Richtung mEM zu erzeugen, weil der Strom in m von dem Strom ED angezogen und der in M von dem Strome ED abgestoßen wird.

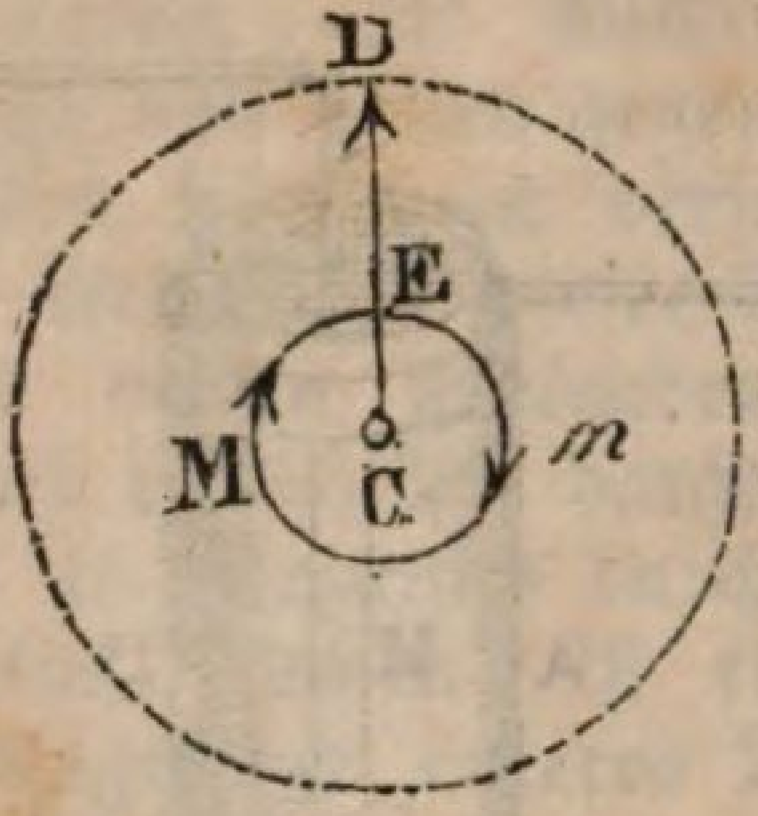


Fig. 159.

275. Würde die Spitze P nicht wie früher in die Mitte der Flüssigkeit über dem Magnet eingetaucht, sondern von ihm seitwärts, so wird die Wirkung der Ströme verwickelter, indem einige anziehen und andere abstoßen müßten, je nachdem ihre Lagen zum Magnete sein würden. Die Resultante wird in rechtem Winkel zur Linie stehen, welche den Mittelpunkt der Ausstrahlung mit der Achse des Magnetes vereinigt, und die Wirkung dieser Kraft wird eine übertragene Bewegung der des ganzen Magnetes sein, d. h. eine Umdrehung um eine Linie, die zur Achse parallel ist und außerhalb ihrer Oberfläche liegt.

276. Die Gegenwart von Querströmen in jedem Theile der Oberfläche des Magnetes ist durch ihren verbundenen Einfluß gut erläutert, wenn eine Anzahl Magnete horizontal, wie die Speichen eines Rades gestellt wird, indem ihre gleichen Pole sich nach dem Mittelpunkt C richten (Fig. 160). In dieser Lage gehen alle Strömungen auf den oberen Seiten der Magnete in derselben Richtung, in Bezug auf den Umfang der Kreise, die vom Mittelpunkt C aus beschrieben sind. Sie werden deßhalb eine fortwährende Umdrehung in einem scheitelrechten Leiter erzeugen, dessen Achse durch den Mittelpunkt geht, aber begrenzt ist, d. h. die sich

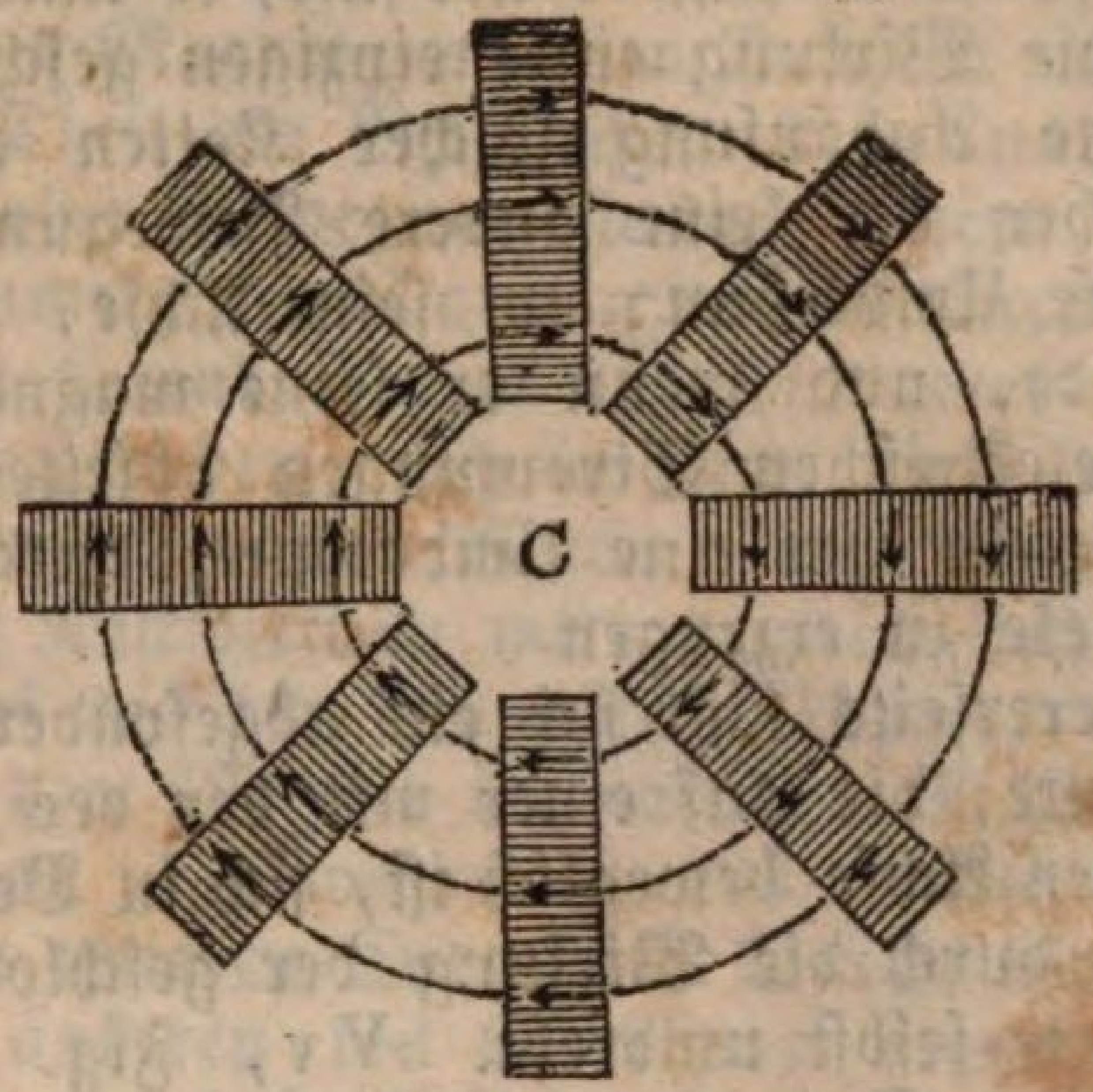


Fig. 160.

nicht über die Seiten der Ebene ausdehnt, worin die Magnete liegen.

277. Ampère's Theorie führt zum Schluß, daß keine mechanische Anordnung der Theile einer elektromagnetischen Vorrichtung drehende Bewegung erzeugen kann, wenn nicht flüssige Leiter einen Theil der Volta'schen Kette bilden; somit ist auch kein Versuch erfolgreich gewesen, um solche Bewegungen in Wirklichkeit zu erhalten.

278. Somit ist es auch unmöglich, die Umdrehung eines Magnetes um seine eigene Achse, entweder durch die Wirkung anderer Magnete oder durch die eines elektrischen Stromes zu erlangen, welcher weder den Magnet noch einen andern Körper durchzieht, der so befestigt ist, daß er sich mit ihm bewegt; dies ist eine unmittelbare Folge des Gesetzes, welches sich aus der elektrodynamischen Theorie folgern läßt, daß die gegenseitige Wirkung zweier geschlossener Ketten in irgend einer dieser Ketten keine fortgesetzte umdrehende Bewegung in bleibender Richtung erzeugen kann; es ist nämlich klar, daß, wenn dies in Bezug auf zwei einzelne Ströme der Fall ist, es auch in Bezug auf Anhäufungen solcher geschlossenen Ketten wahr sein muß, in welcher Weise sie auch angeordnet sein mögen. Das Aeußerste, das sich ergeben kann, ist eine Neigung eines derselben, wenn er beweglich ist, eine feste Stellung des Gleichgewichtes anzunehmen; ist deßhalb das System so gebildet, daß es sich nur um eine Achse drehen kann, um welche die Ketten, die

es bilden, symmetrisch angeordnet sind, so kann es Bewegung weder durch die Wirkung einer einzigen geschlossenen Kette, noch durch eine Anhäufung solcher Ketten erlangen. Ein Magnet, welcher für keine andere Bewegung empfänglich ist, wie für die Umdrehung um seine Achse, befindet sich in diesem Zustande, und wenn er seine magnetischen Eigenschaften von elektrischen Strömungen ableitet, so muß es unmöglich sein, in ihm eine Umdrehung durch die Wirkung anderer Magnete zu erzeugen.

279. Andererseits läßt sich ein abgesonderter Theil einer Volta'schen Kette, die auf einer mit der des Magnetes zusammenfallenden Achse beweglich ist, sich in Bewegung setzen, so daß sie sich durch die Wirkung der geschlossenen Ströme in dem Magnete selbst umdreht. Vv, Fig. 161, stellt den Durchschnitt einer Volta'schen Säule dar, wo positive und

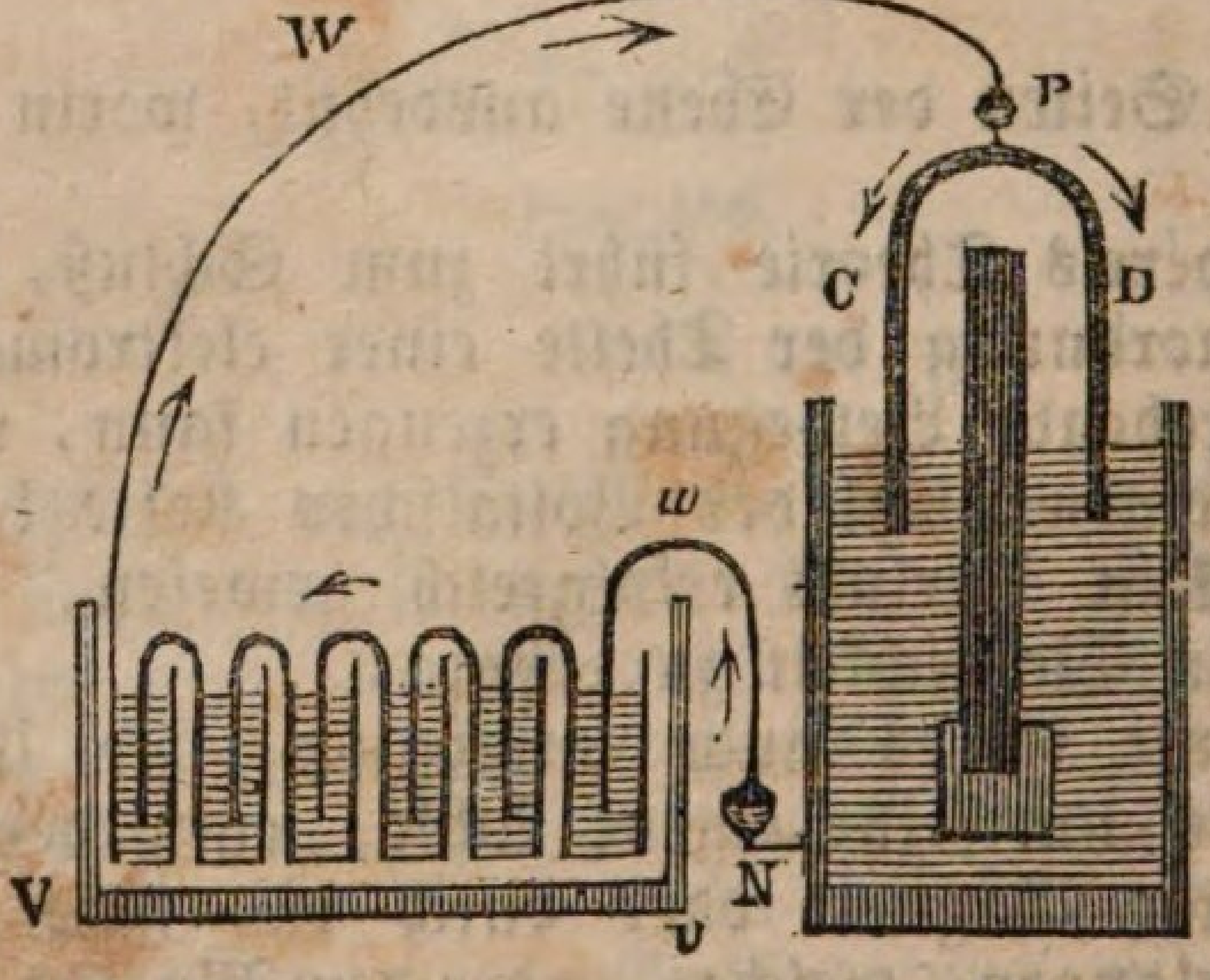


Fig. 161.

negative Drähte Ww von den zwei Polen ausgehen und in die Schalen PN eingefügt sind; die erstere befindet sich oben auf einem Bogen des Drahtes, von welchem zwei Zweige nach jeder Seite hin absteigen, und unter der Oberfläche eines Betrags Quecksilber sich endigen, welches in dem Gefäße enthalten ist, das der Durchschnitt ebenfalls zeigt; der letztere befindet sich am Ende eines Drahtes, der von dem unteren Theile des Geschirres ausgeht und mit dem Quecksilber in Berührung steht; während man einen Magnet in aufrechter Stellung in der Achse des Gefäßes durch ein Ge-

wicht Platina schwimmen läßt, welches an das untere Ende befestigt ist. Der Magnet, mit den Drähten nicht verbunden, bildet keinen Theil der Volta'schen Kette und bleibt unbewegt, erregt aber Bewegung in den Leitern, welche seinen oberen Theil umringen. Da nämlich die Ströme der Drähte in den Theilen C und D dem des Magnetes sich nähern, so werden sie angetrieben, sich in einer Richtung darum umzudrehen, welche der der Ströme im Magnete entgegengesetzt ist; eine Rückwirkung wird zugleich von den Strömen der Drähte auf die der Magnete geäußert, welche deßhalb dahin wirken, den Magnet in derselben Richtung, wie ihre eigene Strömung zu bewegen (§. 203). Die Ströme jedoch, welche von den unteren Enden der Drähte durch das Quecksilber zu den äußeren des Geschirres gehen, weichen vom Magnet zurück und bestreben sich, dem Quecksilber eine Drehungsbewegung in der Richtung magnetischer Ströme mitzutheilen; folglich erhält der Magnet durch die Rückwirkung dieser Kraft eine Neigung, sich in entgegengesetzter Richtung zu bewegen. Die zwei Kräfte, welche aus diesen entgegengesetzten Neigungen der aufsteigenden und zurückgehenden Ströme sich ergeben, setzen sich einander entgegen und zerstören sich theilweise in Bezug auf ihre Wirkung zum Magnete; wenn die Umdrehungswirkung eines Ganzen auf den noch übrigen Theil des Stromes mit berücksichtigt wird, worin die Säule selbst und die zwei Drähte W w mit einbegriffen sind, so wird die Ausgleichung vollkommen und die Totalwirkung gleich Null. Daraus ersehen wir, obgleich die Drähte sich in einer Richtung drehen und das Quecksilber in einer anderen, daß der Magnet selbst, indem er die Einwirkung gleicher und entgegengesetzter drehender Kräfte erleidet, und an keinem Theil der Kette befestigt ist, gänzlich unbeweglich bleibt.

280. Der Fall wird jedoch verändert, wenn der Magnet so mit der Vorrichtung der Drähte verknüpft ist, daß er den Theil einer Kette, sogar nur für einen Theil des Stromes bildet; der Theil des Stromes nämlich, welcher so durch den Magnet geht, äußert nicht länger darauf eine Neigung zur Drehung und wird deßhalb als erdrückt gelten; da die Wirkung dieses Theiles die gleiche und entgegengesetzte Wirkung der übrigen Kette genau im Gleichgewicht hielt, so kann dies Gleichgewicht nicht länger bestehen, wenn dieser Theil entfernt ist, und der übrige Strom, welcher in Wirksamkeit kommt, wird eine Umdrehung des Magnetes auf seine eigene Achse erzeugen. Die Richtung dieser Drehung wird dieselbe sein, wie die der absteigenden Drähte; deßhalb läßt sich der

Magnet mit diesen Drähten verbinden, ohne daß die Natur dieser Wirksamkeit vermindert wird, wie der §. 76 beschriebene Versuch Faraday's darthut.

281. Es folgt ferner aus den Grundsätzen von Ampère's Theorie, daß keine Bewegung dieser Art stattfinden wird, wenn der bewegliche Theil, welcher an den Magnet geheftet ist, beide Enden in der Achse hat, weil keine Wirkung sich zwischen einem System geschlossener Ketten und einem anderen Strome sich ergeben kann, der an beiden Enden der Achse des Systemes endet.

282. Die Theorie von Ampere umfaßt eine vollkommene Gleichheit der Art der Wirkung eines Magnetes und eines elektrodynamischen Cylinders. Es hat sich übrigens ein auffallender Unterschied zwischen beiden ergeben. In dem elektrodynamischen Cylinder liegen die Pole gerade an den Enden des Cylinders, in gewöhnlichen Magneten findet man sie näher zum Mittelpunkt wie zu der Enden; der Unterschied wechselt in verschiedenen Magneten. Dieser Umstand wurde lange Zeit als ein solcher betrachtet, welcher die Richtigkeit der Theorie umstieße. Er ist jedoch nach der Vermuthung in zwei Arten zu erklären, entweder, daß man annimmt, die Stärke der Strömungen vermindere sich von der Mitte nach den Enden zu, oder auch, daß sie einen Grad von schräger Richtung erlangen, wenn sie von dem Mittelpunkt des Magnetes in einiger Entfernung liegen, d. h. daß sie sich in Flächen bewegen, welche nicht genau senkrecht zur Achse des Magnetes, sondern in verschiedenen Theilen verschieden geneigt sind. Diese Wirkungen lassen sich nicht allein als mit Ampere's Vermuthung zusammenstimmend erweisen, sondern sie ergeben sich auch als natürliche Folgen aus den bestehenden Gesetzen elektrodynamischer Wirksamkeit. Diese Stellungen der verschiedenen Strömungen je nach ihrer Lage zur Achse lassen sich am besten aus Fig. 162 erklären, welche den Durch-

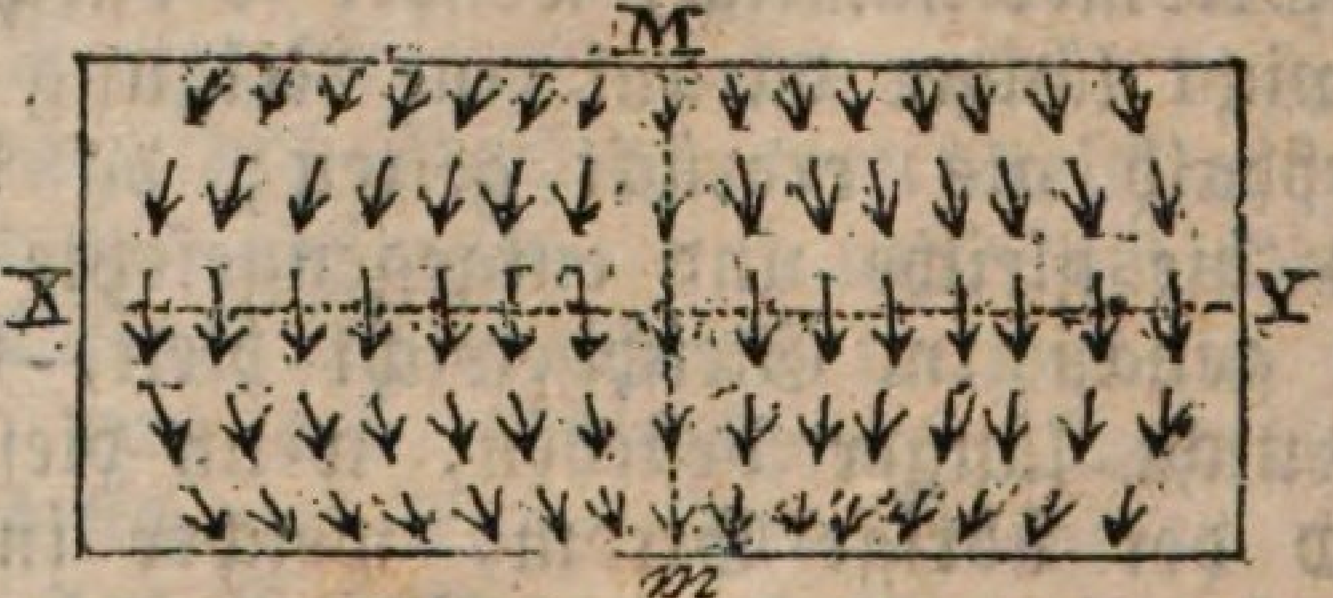


Fig. 162.

schnitt eines Magnetes der Länge nach vermittelst einer durch seine Achse gehenden Fläche darstellt. Die Richtungen der Ströme sind durch kurze Pfeile angezeigt. Die Elementarströme derjenigen Theilchen des Magnetes, welche in der Achse, d. h. X Y entlang liegen, werden sich wegen der Symmetrie der Figur in Flächen zur Achse senkrecht bewegen, ebenso wie die der mittleren Fläche M m, die durch den Mittelpunkt des Magnetes geht. Was die der Oberfläche näher liegenden Ströme betrifft, so werden sie durch Wirkung der inneren Ströme sich zur Mitte des Magnetes wenden, während diejenigen Theile derselben Ströme, die der Achse am nächsten liegen, von der Mitte nach dem nahen Ende abgestoßen werden; die Flächen ihrer Neigung werden deßhalb mehr oder weniger sich zur Achse neigen, je nachdem sie von der Achse und von der Mitte des Magnetes mehr oder weniger entfernt sind, wie dies die Pfeile in der Figur darstellen. Der Totalbetrag der Neigung in den seitlichen Strömen wird im Verhältniß der Stärke zur Wirkung innerer Ströme und auch im Verhältniß zu ihrer Zahl größer sein; er wird deßhalb um so größer sein, im Verhältniß wie die Dicke des Magnetes im Vergleich zur Länge größer ist. Wir können diese Dicke uns als so übermäßig denken, daß die Kräfte, welche diese Neigung der Ströme zu erzeugen suchen, zuletzt die hemmende Kräfte überwältigen und die Entwicklung des Magnetismus hemmen. Untersuchen wir, mit welchem Erfolg Ampere's Vermuthung auf diese Klasse von Erscheinungen angewandt worden ist.

283. Wir haben schon gesehen, daß ein elektrischer Strom magnetische Eigenschaften durch Induktion solchen Körpern in der Nähe mittheilt, welche für deren Erwerbung empfänglich sind; wenn diese Eigenschaften aus elektrischen Strömen entstehen, die in den Theilchen des magnetisirten Körpers oder in den magnetischen Elementen umlaufen (Magnetismus §. 159), so können zwei Vermuthungen diese Erscheinung erklären. Die erste besteht darin, daß elektrische Ströme, welche vorher nicht vorhanden waren, durch den Einfluß eines andern Stromes in der Nähe erzeugt oder in Wirksamkeit berufen werden. Die zweite Vermuthung ist die, daß elektrische Strömungen in allen Theilen des Eisens oder anderer für Magnetismus empfänglicher Körper, bevor sie diese Eigenschaft erlangen, vorhanden sind, jedoch ohne daß sie eine gleichförmige Richtung haben; unter diesen Umständen wirken sich ihre Thätigkeiten auf einen äußern Körper entgegen und halten einander im Gleichgewicht, so daß sie einen neutralen Zustand bilden. Wenn sie andererseits unter dem Einfluß

eines elektrischen Stromes genügender Kraft stehen, so wenden sie sich sämmtlich nach derselben Gegend hin und nehmen eine gemeinschaftliche Richtung an; sie werden jetzt in ihrer Wirksamkeit auf äußere Körper zusammenwirken und magnetische Eigenschaften zeigen. Diese Veränderung entspricht demjenigen, was in den Strahlen gewöhnlichen Lichtes stattfindet, wenn dieselben, nachdem sie in allen möglichen Richtungen polarisirt gewesen sind, plötzlich in einer besonderen Richtung polarisirt werden.

284. In der ersten dieser Vermuthungen ist mit einbegriffen, daß jede elektrische Strömung dahin strebt, Strömungen ähnlicher Richtung in anderen Körpern zu erzeugen. Ampere hat durch folgenden merkwürdigen Versuch den Umstand bewiesen, daß ein gewaltiger Volta'scher Strom dies Vermögen besitzt, Strömungen in nahen Körpern zu erregen, die man im Allgemeinen als nicht für den Magnetismus empfänglich hält. Ein Kupferdraht von beträchtlicher Länge mit Seidenfäden bedeckt, ward so um einen Cylinder gerollt, daß er ein Gewinde von einiger Dicke bildete; innerhalb dieses Gewindes wurde ein Kupferring von kleinerem Durchmesser an einen feinen Seidenfaden gehängt, der durch eine kleine Glasröhre ging, welche man zwischen die Fäden des Kupfergewindes geschoben hatte. So ward der Umfang des Ringes in jedem Theil sehr nahe an den Leitungsdraht gebracht, durch welchen ein sehr gewaltiger Volta'scher Strom hindurch gesandt wurde; wenn ein Magnet unter diesen Umständen dem Ringe geboten wurde, so ward letzterer in derselben Weise angezogen oder abgestoßen, als habe er einen Theil desselben Umlaufs wie das Gewinde gebildet. Hieraus wurde geschlossen, daß ein elektrischer Strom dahin strebt, in Leiter, die sich in seiner unmittelbaren Nähe befinden, Strömungen einzuführen, welche sich in ähnlichen Richtungen bewegen. Diese Neigung ist allerdings nur schwach, und die ersten Bemühungen von Ampere, um sie zu entdecken, mißlangen, weil er nicht genügende Mittel anwandte; bei Wiederholung des Versuches mit gewaltigen Batterien und Magneten gelang es ihm vollkommen, eine sichtbare Wirkung hervorzubringen.

Es wäre sehr zu wünschen, daß dieser wichtige Versuch, von dessen Genauigkeit so viel abhängt, um die magnetische Induktion nach Ampere's Theorie zu erklären, sorgfältig und mit jeder möglichen Abwechslung in ihren Umständen wiederholt würde, so daß sich dadurch bestimmen ließe, ob die von ihm beobachtete Wirkung sich gleichförmig zeigt, mit der vermutheten Ursache stets verbunden ist und immer damit im

Verhältniß steht, oder ob sie von einem besondern Zustand im Strome in Bezug auf Spannung, Geschwindigkeit oder Stärke, oder von einer augenblicklichen Veränderung in diesen Zuständen abhängt. In der besonderen Form, worin der Versuch gemacht worden ist, scheint er kaum zu dem allgemeinen Schluß zu berechtigen, den Ampere daraus hergeleitet hat.

285. Nehmen wir sogar die allgemeine Thatsache an, daß die elektrischen, in einem Körper umlaufenden Ströme von ähnlich gerichteten Strömen in nahen Leitern begleitet sind, so finden wir uns nicht in dem Zustande, die Frage zu entscheiden, ob man in Mittheilung des Magnetismus bei Metallen eine wirkliche Erzeugung elektrischer Ströme oder einfach eine Veränderung annehmen muß, die in den Richtungen der Ströme hervorgebracht wird, welche vorher in deren Theilchen vorhanden sind. Es findet sich jedoch keine Folgewidrigkeit in der Voraussetzung, daß die Wirkung diesen beiden Ursachen zuzuschreiben ist, denn die Wirkung eines elektrischen Stromes kann darin bestehen, daß sie vorher vorhandenen Strömen eine gewünschte Richtung ertheilt, während sie zugleich deren Stärke vermehrt.

286. Es ist nutzlos, daß wir hier in die Einzelnheiten der Art eingehen, worin ein elektrischer Strom, der durch Leiter verschiedener Formen, sowohl gerade, wie Schraubengewinde, oder durch einen Magnet geht, worin Strömungen als umlaufend gedacht werden, eine magnetische Polarität in die nahen Theile von Stücken Eisen oder Stahl einführt, welche innerhalb seines Einflusses gelangen, betrachten wir diese Polarität als in der Bildung runder Strömungen derselben Art wie derer des einführenden Magnetes bestehend. Es wird genügend sein, darzuthun, daß das Grundgesetz, wonach ein jeder Pol eines Magnetes dahin wirkt, die entgegengesetzte Polarität in dem anstoßenden Ende eines magnetisirbaren Körpers in der Nähe einzuführen, die direkte und nothwendige Folge der Vermuthung ist. Der Umstand, daß dies wirklich der Fall ist, wird sich aus folgender Betrachtung ergeben: Wenn die magnetische Elementarfaser AB (Fig. 163) einer ähnlichen Elementarfaser CD in neutralem Zustande genähert wird, so werden die in ersterer umlaufenden Strömungen in der letzteren einen Umlauf derselben Richtung erregen und sie deßhalb magnetisch machen. Da aber nach der Theorie (§. 267) die Art Polarität an jedem Ende eines Magnetes gänzlich von der Richtung der Strömungen in Bezug auf die Axe am Ende abhängt, so ist es klar, daß, wenn der Strom am Ende B, wie ihn der

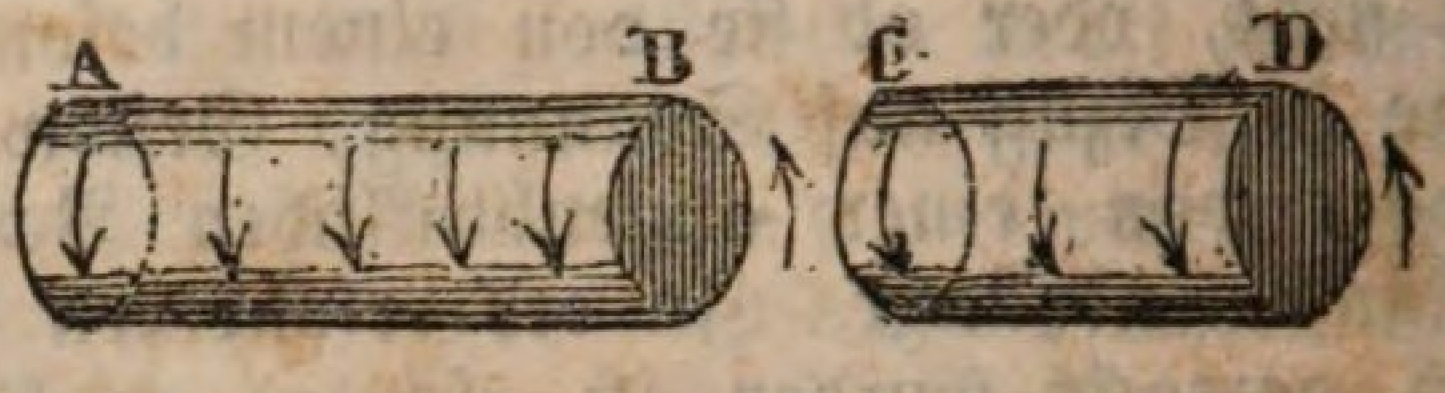


Fig. 163.

auf das Ende blickende Zuschauer sieht, in der Richtung eines Uhrweisers sich umdreht, indem er die südliche Polarität bildet, der Strom, der am Ende des andern Stückes C eingeführt, sich in derselben Richtung im Raum umdreht, dem Zuschauer erscheinen wird, als bewege er sich an dem Ende in entgegengesetzter Richtung; er wird deßhalb eine nördliche Polarität erhalten, d. h. eine, welche derjenigen des anstoßenden Endes entgegengesetzt, aber der des entfernteren Endes A gleich ist. In gleicher Weise wird die Polarität von D, wenn der Induktionseinfluß sich auf diese Entfernung ausdehnt, derselbe sein wie der von B, denn die Umstände, welche die Umdrehung des Stromes begleiten, sind an beiden genau dieselben.

287. Wenn andererseits die neutrale Stange in der Nähe des einführenden Magnetes und parallel mit ihm gestellt ist, so wird die Wirkung der Ströme auf der anstoßenden Seite der letzteren über die der Ströme auf der entfernteren Seite wegen der größeren Nähe der Stangen vorherrschen und auf der anstoßenden Seite Ströme erzeugen, die in derselben Richtung laufen; diese zwei Reihen Ströme aber, indem sie auf verschiedenen Seiten in ihren Axen liegen, bilden magnetische Strömungen in entgegengesetzten Richtungen und deßhalb von entgegengesetzten Eigenschaften. Die Pole des Magnetes, welcher die Induktion erleidet, sind deßhalb umgekehrt zu denen, der sie ausführt; dies wird sich aus Ansicht von Fig. 164 als klar ergeben. Derselbe Gegen-

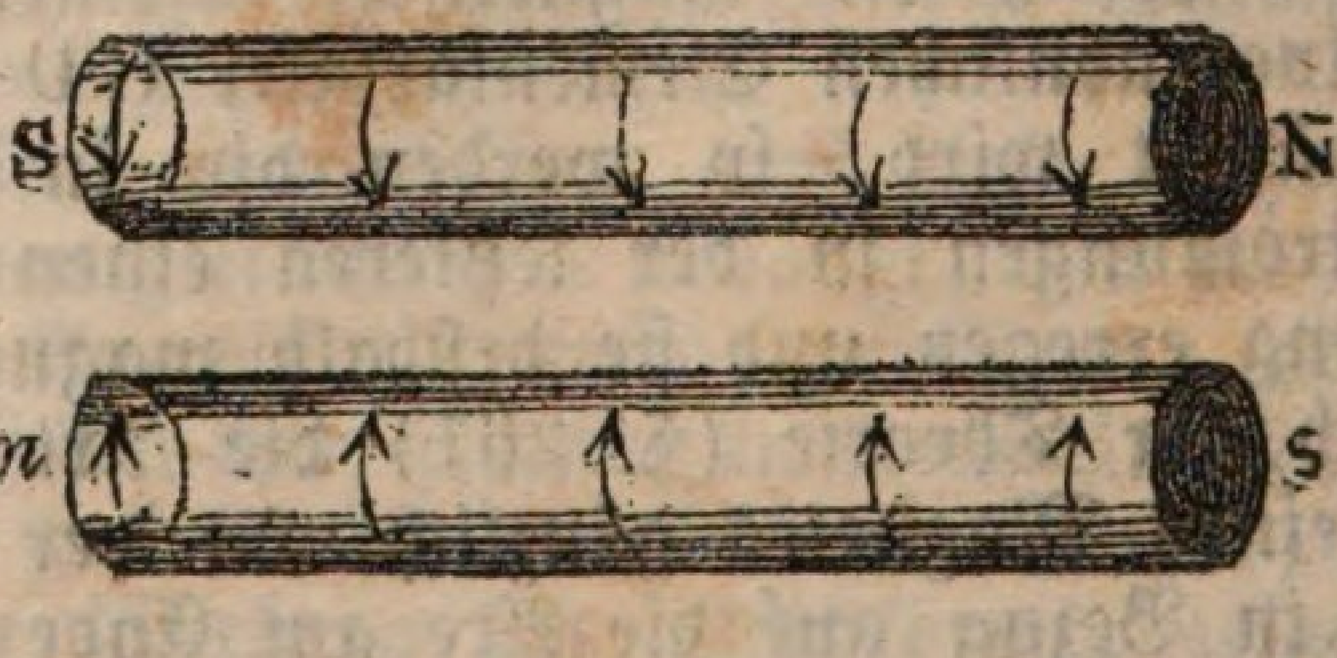


Fig. 164.

satz der Richtung findet statt, wenn zwei parallele Walzen sich auf einander drehen, da die in Berührung kommenden Theile sich in derselben Richtung drehen.

288. Nach der Entfernung des Stromes, welcher diese Strömungen ursprünglich bedingte, setzen diese eingeführten Ströme den Umlauf mit mehr oder weniger Ausdauer fort, je nach dem Grad der Hemmungskraft, die dem Körper einwohnt. In weichem Eisen verschwinden sie beinahe sogleich; in Stahl erhalten sie sich und bilden bleibende Ströme. Die Wirkung der Wärme geht entweder dahin, die Strömungen zu schwächen oder aufzuheben, oder sonst die Gleichförmigkeit in ihren Richtungen zu stören, so daß sie in Uebereinstimmung zu wirken aufhören und der Stahl in seinen natürlichen Zustand zurückkehrt. Man findet in Uebereinstimmung mit der Theorie Ampere's, daß alle Wirkungen magnetischer Induktion ebenso durch elektrische Strömungen, die durch spiralförmige Leiter, oder Leiter in der Form von Schraubengewinden umlaufen, wie bei künstlichen Magneten erzeugt werden.

289. Die Theorie Ampere's gibt den Schlüssel zur Erklärung einer Menge Thatsachen, welche die Verwandlung von Stahlstangen im Magnete durch die gewöhnliche Magnetisationsweise erklären, die bei jeder andern Vermuthung unverständlich bleiben. Sie erklärt die eigenthümlichen in der Darstellung des Magnetismus erwähnten Umstände über die Vortheile der einfachen und doppelten Touchirung, je nach der Neigung, die dem Magnet ertheilt wird, wenn man ihn an die zu magnetisirende Stange anbringt; besonders erklärt sie das häufige Vorkommen mehrer auf einanderfolgenden Pole, wenn gewisse Methoden angewandt sind. Man stelle einen der Pole eines Magnetes, z. B. den Nordpol, auf die Mitte einer Stahlstange dazu in rechtem Winkel, Fig. 165. Die Form der Stahlstange wird, wie schon bemerkt worden ist, der Einführung von Strö-

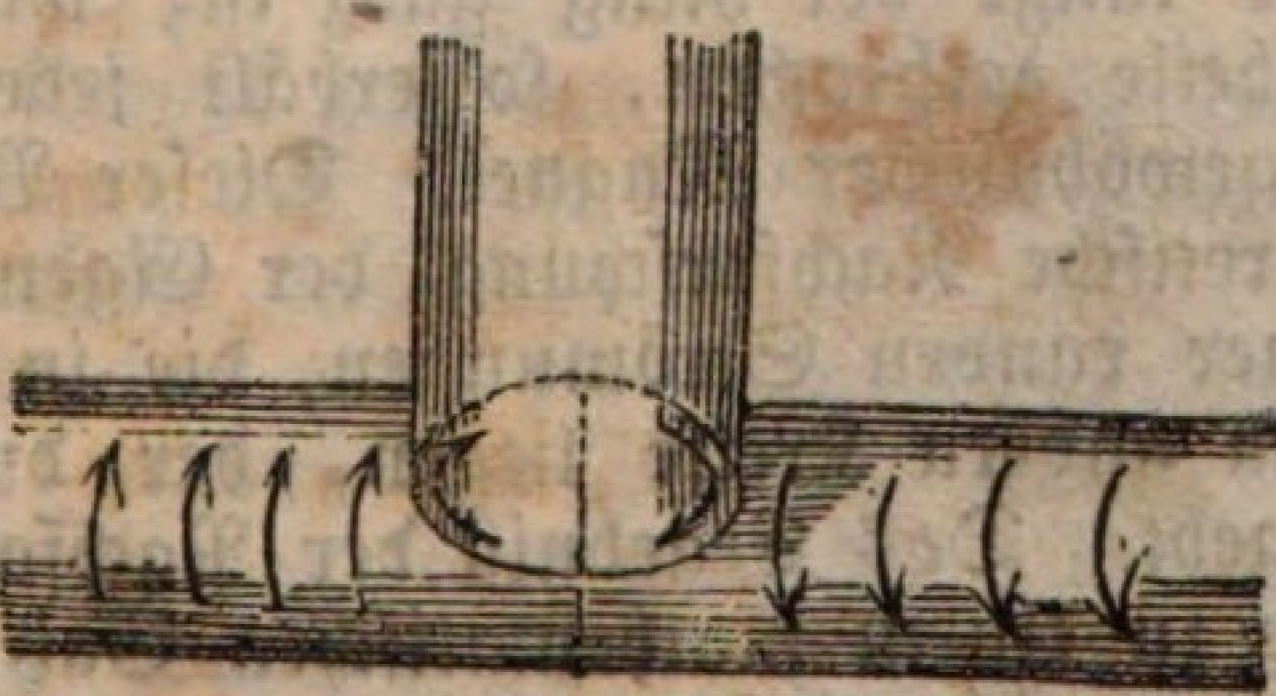


Fig. 165.

mungen in einer Richtung quer zu ihrer Länge eine größere Leichtigkeit geben, und die Ströme eines Magnetes, die in dieser Richtung laufen, sind diejenigen an den entgegengesetzten Seiten des Magnetes, vorausgesetzt, man theilt sie durch die punktirte Linie, die senkrecht zur Länge der Stahlstange gezogen ist. Diese Theile der Strömungen bewegen sich selbst in entgegengesetzten Richtungen; die Strömungen, die sie in die von ihnen berührten Theile der Stahlstange und in die nahen Theile einführen, müssen deßhalb in gleicher Weise entgegengesetzte Richtungen haben und entgegengesetzte Polaritäten erzeugen. So werden die zwei Enden der Stange in Nordpole verwandelt, während die Punkte unmittelbar unter dem Mittelpunkt des Magnetes auf einanderfolgende Pole oder Südpole werden.

290. Die Erscheinungen, welche den Bruch eines Magnetes begleiten, folgen sehr natürlich aus der Bildung, die ihnen die Vermuthung Ampere's zugeschrieben hat; da nämlich die Strömungen in den getheilten Enden, so lange sie vereinigt waren, in derselben Richtung umlaufen, so werden sie in entgegengesetzten Richtungen in Bezug auf die zwei Seiten der theilenden Fläche sich umlaufend zeigen, welche Seiten der Theilungsfläche die Endflächen jedes Stückes nach der Trennung werden. Die Polaritäten der zwei Enden müssen deßhalb von entgegengesetzter Art sein, aus demselben Grunde, wonach die nahliegenden Ende B und C, Fig. 163, von zwei Magneten, die, in derselben Linie mit den Strömungen gleicher Richtung liegend, ähnliche Ströme haben, entgegengesetzte Polaritäten besitzen. An den Polen eines Hufeisenmagnetes drehen sich die Strömungen in entgegengesetzten Richtungen in Bezug auf die Strömungen der gebogenen Achse; die Richtungen jedes anstoßenden Theiles in jedem Strome, sowie der entfernten Theile aber sind gleich (Fig. 166).

291. Wenn eine Stahlstange als Ring gebildet ist, statt wie ein Hufeisen gebogen zu sein, und alsdann magnetisirt wird (Fig. 167), so zeigt sie keine magnetischen Eigenschaften, so lange der Ring ganz ist; wird er aber in eine Anzahl Theile zerbrochen, so erhält jeder Theil zwei Pole wie ein gewöhnlicher Magnet. Dieser Versuch veranlaßte die theoretische Nachforschung der Eigenschaften eines Systemes kleiner runden Strömungen, die in Ebenen senkrecht zu einem andern Kreise liegen, der durch alle ihre Mittelpunkte geht. Das Ergebniß der Nachforschung dieser Aufgabe führte zu einem mathematischen Satz, der mit der Beobachtung genau übereinstimmte; ein so gebildeter Ring nämlich, oder ein elektrodynamischer Ring, wie man ihn

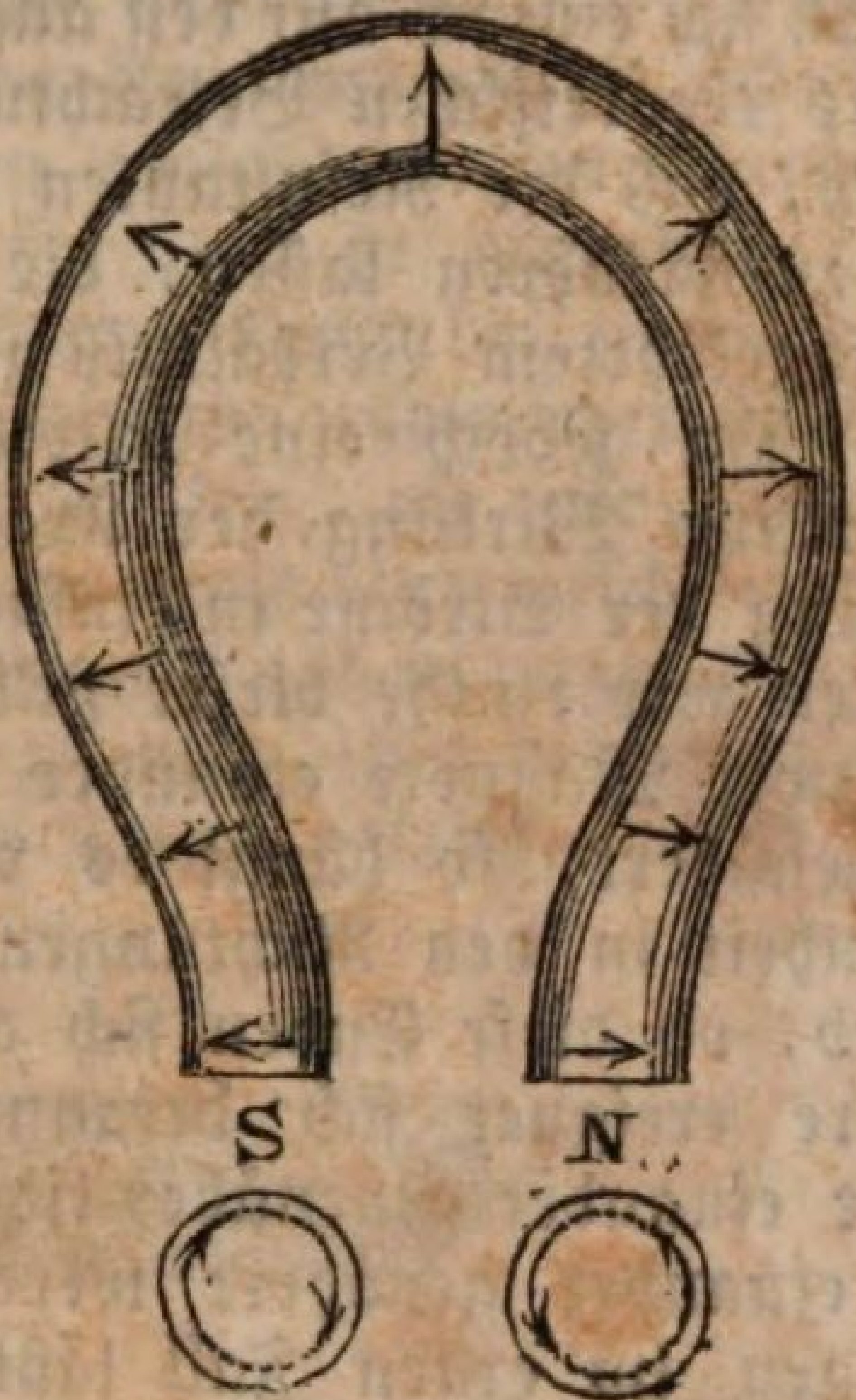


Fig. 166.

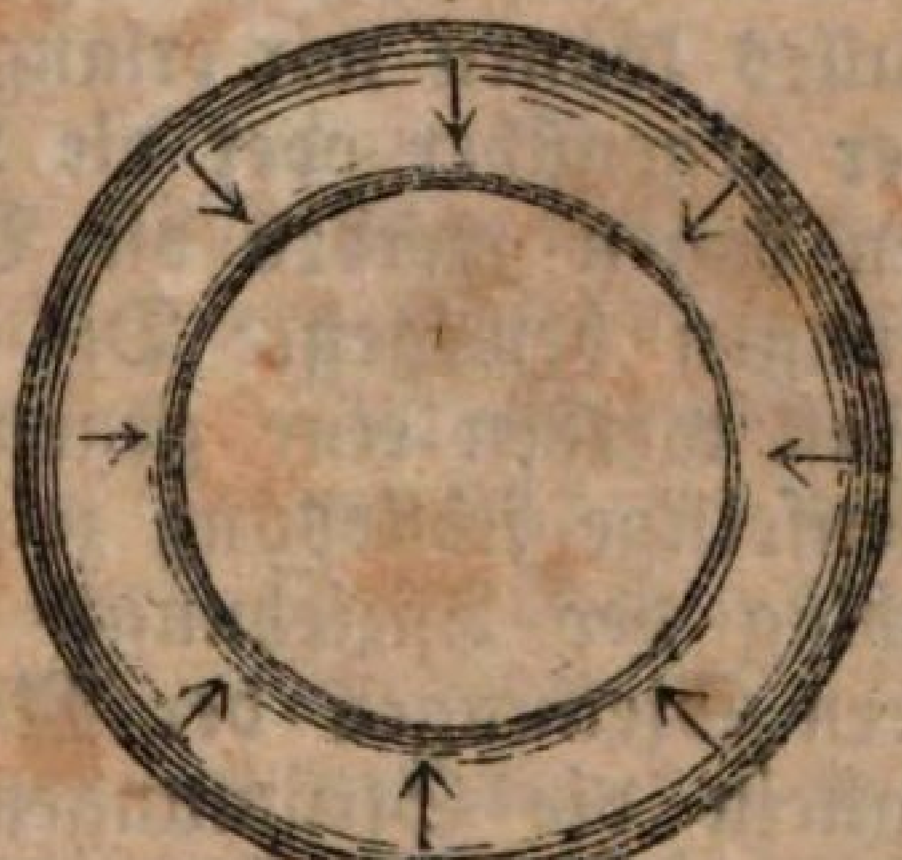


Fig 167.

nennt, äußert sowohl nach der Theorie wie nach Erfahrung gar keine Wirkung auf einen Volta'schen Leiter, in welcher Entfernung derselbe auch sein mag.

292. Betrachtet man die Anwendung der Theorie Ampere's auf die gegenseitige Wirkung zweier Magnete, so kann man sich mit den schon gemachten Beobachtungen über die gegenseitige Wirkung zweier elektrodynamischer Cylinder begnügen, welche sich als deren Repräsentanten annehmen

lassen; auch kann man sich einfach auf den allgemeinen Grundsatz berufen, der aus theoretischen Betrachtungen herzuleiten ist (§. 251), nämlich, daß die Resultanten aller Wirkungen sich auf die Kräfte zurückführen lassen, die von den Polen ausgehen und in umgekehrtem Verhältniß zum Quadrat der Entfernung stehen. Da jedoch eine leichter verständlichere Ansicht über die wirkliche Wirkung der Kräfte, die aus Anziehung und Abstoßung der Ströme in einfacheren Fällen sich geben läßt, so wollen wir einige dieser Fälle untersuchen.

293. Werden zwei Magnete einander mit ihren Achsen in derselben Linie genähert, so hängt es von der Aehnlichkeit oder Verschiedenheit in den Richtungen der Ströme an den nahen Enden ab, ob diese Enden sich anziehen oder abstoßen. Das erstere ereignet sich bekanntermaßen, wenn entgegengesetzte Pole einander gegenüber liegen; das letztere, wenn gleiche Pole einander genähert werden. Die Bewegung der Strömungen im ersten Fall läßt sich am besten dadurch erläutern, daß man zwei Taschenuhren über einander legt, daß das Zifferblatt der einen mit dem Rücken der andern in Berührung kömmt; die Weiser in beiden werden sich alsdann in derselben Richtung bewegen. Eine Darstellung des zweiten Falles können wir erlangen, wenn wir die Zifferblätter einander gegenüber oder die Rücken auf einander legen; in beiden Lagen werden die Weiser sich in entgegengesetzten Richtungen bewegen. Die elektrischen Strömungen im ersten Fall werden eine gegenseitige Anziehung, im letztern eine gegenseitige Abstoßung zeigen.

294. Im Anschlag der Anziehungs- und Abstoßungskräfte, die in andern Stellungen der Magnete stattfinden, müssen wir nicht allein die Strömungen an den Enden, sondern auch diejenigen in Anschlag bringen, welche die ganze Länge beider Magnete entlang vorhanden sind. Die allgemein sich so ergebenden Resultanten aller Kräfte lassen sich so zur Anziehung und Abstoßung zwischen dem Ganzen jeder Seite eines Magnetes und dem Ganzen jeder Seite des andern Magnetes zurückführen. Denken wir uns zwei Magnete in der beinahe horizontalen Lage, worin sie durch Einfluß des Erdmagnetismus gebracht werden würden, so wird die Ostseite des einen die Ostseite des andern anziehen und die Westseite abstoßen, und die Westseite wird in gleicher Weise den Westen anziehen und den Osten abstoßen. Daher geht die allgemeine Neigung aller dieser Richtungen dahin, die Magnete so zu wenden, daß die zwei Ostseiten z. B. so nahe wie möglich und zu einander parallel sind, d. h. in einer Stellung, worin der Nordpol jedes Magnetes dem Süd-

pol des andern sich anschließt, und in dieser Stellung wird der größte Betrag Anziehungskraft sich äußern.

295. In den zwischen diesen liegenden Stellungen und besonders wenn sie stark zu einander geneigt sind, ist der Anschlag der mittleren Kraft bei jedem einzelnen Fall wegen der verwickelten Wirkung zahlreicher Kräfte, die in mannigfachen Richtungen wirken, oft sehr schwierig. Wenn z. B. einer der Magneten, wie eben beschrieben, parallel zum andern gelegen, und mit nahen ungleichen Polen, in der Linie seiner Achse bewegt wird, bis die zwei Enden mit gleichen Polen in dieselbe Fläche gelangen, wie Fig. 168 gezeigt ist,

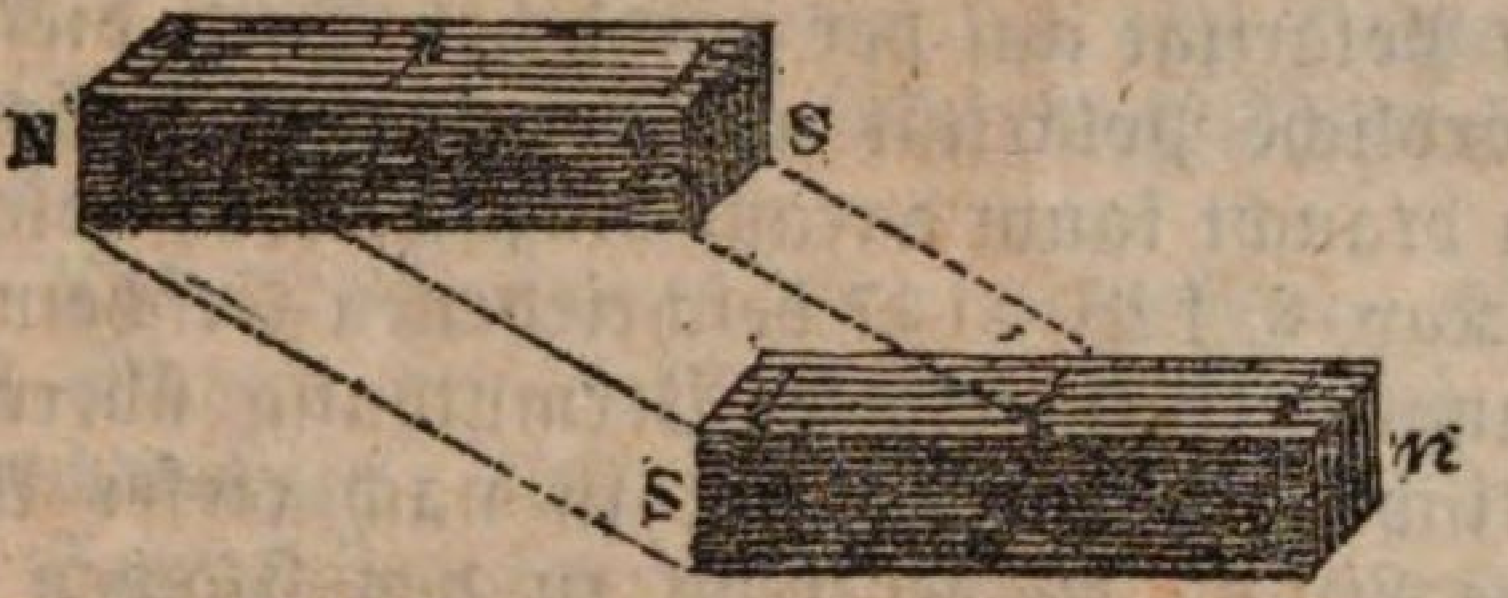


Fig. 168.

so findet sich starke Abstoßung statt der vorher beobachteten Anziehung, ungeachtet der Gleichheit der Ströme und an den zwei Rändern S s. Der Grund liegt darin, daß die Anziehung der nahen Seiten jetzt sehr durch die größere Entfernung der entferntern Theile N und n geschwächt ist, sowie auch wegen der großen schrägen Richtung dieser Wirkung. Die Abstoßungen dagegen zwischen der anstoßenden Seite des einen und der entfernten Seite des andern Magnetes werden sehr stark, sowohl wegen der vermehrten Nähe wie der geraderen Richtung; folglich sind sie vorherrschend. Eine ähnliche Erklärung läßt sich über die Anziehung geben, welche zwischen ungleichen Polen stattfindet, die in ähnliche Lage gebracht worden sind. Die Schlußfolge in beiden Beispielen entspricht dem, was §. 236. in Bezug auf die Wirkung eines Schraubengewindes auf ein Elementartheilchen des Stromes angegeben ist, das in verschiedenen Lagen in Bezug auf das Schraubengewinde gebracht wurde.

296. Im Fall der Magnete, die nicht von prismatischer oder cylindrischer Form sind, und die sich nicht mit Flächen senkrecht zu ihren Achsen enden, wird der Anschlag der Resultante weit schwieriger; Alles, was wir jetzt darüber gesagt haben, kann allein eine Annäherung an die Aufgabe gewäh-

ren. Die strenge Erforschung dieser Aufgabe würde mathematische Betrachtungen von zu großer Ausdehnung für eine Schrift dieser Art erheischen. Der Leser, welcher die Erforschung verfolgen will, ist auf Ampere's Schrift zu verweisen, welcher den Gegenstand mit einer Meisterhand behandelt hat.

297. Da der magnetische Einfluß der Erde dem von andern magnetischen Körpern so vollkommen entspricht, so muß Ampere's Theorie in Bezug auf die Bildung solcher Körper, wenn sie überhaupt richtig ist, sich auch auf Erdmagnetismus anwenden lassen, welcher nach dieser Theorie aus elektrischen Strömen herstammen muß, die von Osten nach Westen in Ebenen parallel zum magnetischen Aequator umlaufen. Die vereinigte Wirkung solcher Ströme würde eine südliche Polarität auf der nördlichen Seite dieser Ströme und eine nördliche Polarität auf der südlichen Seite hervorrufen. Man braucht kaum darauf hinzuweisen, wie genau die im neunten Kap. §. 128—147 beschriebenen Erscheinungen mit den Folgerungen einer solchen Vermuthung übereinstimmen. Die magnetische Achse der Erde ist nach dieser Ansicht bloß eine gedachte Linie, die senkrecht zu den Flächen elektrischer Strömungen, die in der Erde umlaufen, steht, und durch die Mittelpunkte der von diesen Strömungen beschriebenen Kreise geht; die Richtungskraft der Erde, welche auf Eisen und Magnet auf ihrer Oberfläche wirkt, beruht nicht auf einem wirklichen Einfluß, der aus den Theilen der Erde, auf welche die Pole desselben zeigen, hervorgeht, sondern auf der elektrodynamischen Wirkung der Strömungen, die in der Fläche des magnetischen Aequators umlaufen, denen gemäß die entsprechenden Strömungen im Magnet sich stellen, so daß sie sich einem Parallelismus mit dem ersteren nähern, d. h. daß sie die Stellung des Gleichgewichtes zwischen den Kräften in Wirksamkeit erlangen. Diese Stellung ist die einer Fläche senkrecht zur Linie magnetischer Richtung oder die Linie der Neigung; folglich werden die Ströme im Magnete, da sie selbst senkrecht zu ihrer Achse sind, dahin streben, diese Achse in diese Linie zu bringen; daher die Erscheinungen der Neigungsnadel und daher die Stellung der Compaßnadel in der Fläche des magnetischen Meridians, als die nächste Annäherung, welche die Aufhängungsweise ihr zu der Linie der Neigung gestattet.

298. Alle Wirkungen des Erdmagnetismus lassen sich durch Vertheilung der Drähte um die Oberfläche einer künstlichen Kugel nachahmen, so daß ein galvanischer Strom hindurch geleitet wird. Barlow machte folgenden Versuch: Eine hohle Holzkugel von 16″ Durchmesser, ward mit Kupfer-

drähten versehen, die in Rinnen auf den Breiteparallelen von 10 Graden lagen. Wurde ein elektrischer Strom durch diese Drähte in derselben Richtung in jeden geleitet, so fand man, daß eine Magnetnadel in Bezug auf die Erdkugel gehörig neutralisirt, und in verschiedenen Lagen an der Oberfläche der künstlichen Kugel aufgehängt, Stellungen annahm, die denen vollkommen entsprachen, welche die Neigungsnadel in entsprechenden Gegenden der Erde wirklich annimmt. Es ist wahrscheinlich, daß man mit dieser Vorrichtung jeden Umstand zur Neigung und Richtung angeben könnte, wenn sich diese elektrischen Strömungen auf einer so zubereiteten Kugel unendlich vervielfältigen ließen; wenn wir statt einer Magnetnadel einen elektrodynamischen Cylinder anwenden würden, so würden sich alle Erscheinungen des Erdmagnetismus ohne Mitwirkung des Magnetismus bloß durch Elektrizität zeigen lassen.

299. Der Ursprung dieser elektrischen Strömungen, welche das Innere der Erde und hauptsächlich ihre äußere Schicht durchdringen, läßt sich möglicherweise auf die Wirkung der Sonnenstrahlen auf mehre aufeinanderfolgenden Theile der heißen Zone zurückführen, welche von Osten nach Westen stattfinden und Strömungen positiver Elektrizität in diesen Richtungen zu ihren Flächen erregen, die dem magnetischen Aequator entsprechen. Die Wahrscheinlichkeit der Erzeugung einer solchen Wirkung und der Schluß nach dem Umstande, daß ähnliche Strömungen sich erregen lassen und sogar bleibend in Eisen und Stahl vorhanden sind, ist durch neuere Entdeckungen Seebecks sehr vergrößert worden, nach welchen elektrische Ströme sich durch theilweise Anwendung der Wärme in galvanischen Ketten erzeugen und erhalten lassen, die ausschließlich aus festen Leitern bestehen. Diese Entdeckung führt zu einem besondern Theil dieser Wissenschaft, der man den Namen Thermoelektrizität gegeben hat, und welche im nächsten Kapitel behandelt werden wird.

300. Eine weitere Bestätigung der elektrodynamischen Theorie des Magnetismus beruht auf der Anwendbarkeit der merkwürdigen Erscheinungen magnetischer Drehungen, die in der Darstellung des Magnetismus §. 354—360 beschrieben worden sind. Bald nach der Entdeckung dieser neuen Klasse von Thatsachen gab Arago Ampere den Gedanken ein, die elektrodynamischen Cylinder an die Stelle dieser Magnete in diesen Versuchen zu setzen. Die ersten Versuche, welche Beide zusammen anstellten, führten zu keinen entscheidenden Resultaten, weil einige Mangelhaftigkeiten in der Vorrichtung stattfanden. Als diese Mangelhaftigkeiten ausgeglichen wa-

ren, indem Colladon sich den Versuchen anschloß, wobei sie ein sehr kurzes doppeltes Schraubengewinde von 12 Zoll Durchmesser gebrauchten, erlangten sie dasselbe Resultat, als ob Magnete gebraucht wären. Daraus können wir auf die vollkommene Gleichheit aller Wirkungen eines gewöhnlichen Magnetes und eines elektrodynamischen Cylinders schließen.

301. So finden wir, daß Ampère's Theorie jede Bedingung erfüllt, die von einer wahren Theorie erheischt wird, indem sie eine vollständige Erklärung aller Erscheinungen sogar in den kleinsten Einzelnheiten darbietet; sie vereinigt den Charakter der Einfachheit in den Grundsätzen und der Allgemeinheit in ihrer Anwendung: dadurch daß sie auf neue Verbindungen hinwies, hat sie zu Entdeckung neuer Thatsachen geführt. Auch hat sie den wichtigen Vortheil vor der Theorie der Tangentialkräfte voraus, daß sie eine größere Leichtigkeit der mathematischen Nachforschungen und der Vergleichung der so erlangten analytischen Formeln mit dem Resultat der Erfahrung darbietet, und daß sie dadurch die strengste Prüfung für ihre Genauigkeit möglich macht. Ist die Wahrheit dieser Theorie festgestellt, so geschieht damit ein wichtiger Schritt in der Verallgemeinerung physischer Erscheinungen durch die Erweisung, daß alle diejenigen, welche früher der Wirksamkeit eines unbekannten Prinzipes zugeschrieben wurden, welches man als abgesondert von Elektrizität betrachtete und Magnetismus nannte, in Wahrheit wesentlich elektrisch und daß die zwei Prinzipe gleich sind, daß sie ferner, anstatt die Grundlagen zweier besonderer Abtheilungen der Physik zu bilden, allein die Zweige einer einzigen mehr ausgedehnten und umfassenden Wissenschaft sind.

302. Zugleich ist anzuerkennen, daß noch viel übrig bleibt, um die Schwierigkeiten zu entfernen, welche dieser und anderen elektromagnetischen Theorien im Wege stehen, welche durch die sonderbaren und scheinbar launenhaften Erscheinungen der Induktion des Magnetismus durch elektrische Ströme geboten werden, die durch Leiter übersandt, und von der Volta'schen oder der gewöhnlichen elektrischen Batterie hergeleitet werden. Wir meinen hauptsächlich die Versuche von Savary, die §. 164—168 angegeben wurden, und die noch nicht zur Genüge verallgemeinert sind, um die Erklärung durch irgend eine Vermuthung zuzulassen.

Dreizehntes Kapitel.

Thermoelektrizität.

303. Seebeck in Berlin entdeckte 1822, daß elektrische Ströme sich durch theilweise Anwendung von Wärme auf eine Kette von ausschließlich festen Leitern erzeugen ließen. Der ursprüngliche Versuch war, wie er wenigstens in England bekannt wurde, folgender: Eine Stange Antimonium von ungefähr 8″ Länge und $1/2$″ im Quadrat wurde an den Enden verbunden, indem man ein Stück Messingdraht herumflocht, so daß es ein Oehr bildete, indem jedes Ende der Stange mehre Windungen Draht hatte. Als man eines der Enden eine kurze Zeitlang mit einer Spirituslampe erwärmt hatte, zeigten sich elektromagnetische Wirkungen in jedem Theil der so gebildeten Kette.

304. Somit scheint es, daß für eine Kette dieser Art nur zwei Elemente vorhanden sind, welche in den Leitern AB (Fig. 169) dargestellt werden können, die aus zwei verschiedenen an den Punkten H und C sich berührenden Metallen bestehen, so daß die Kette in HACB gebildet ist.

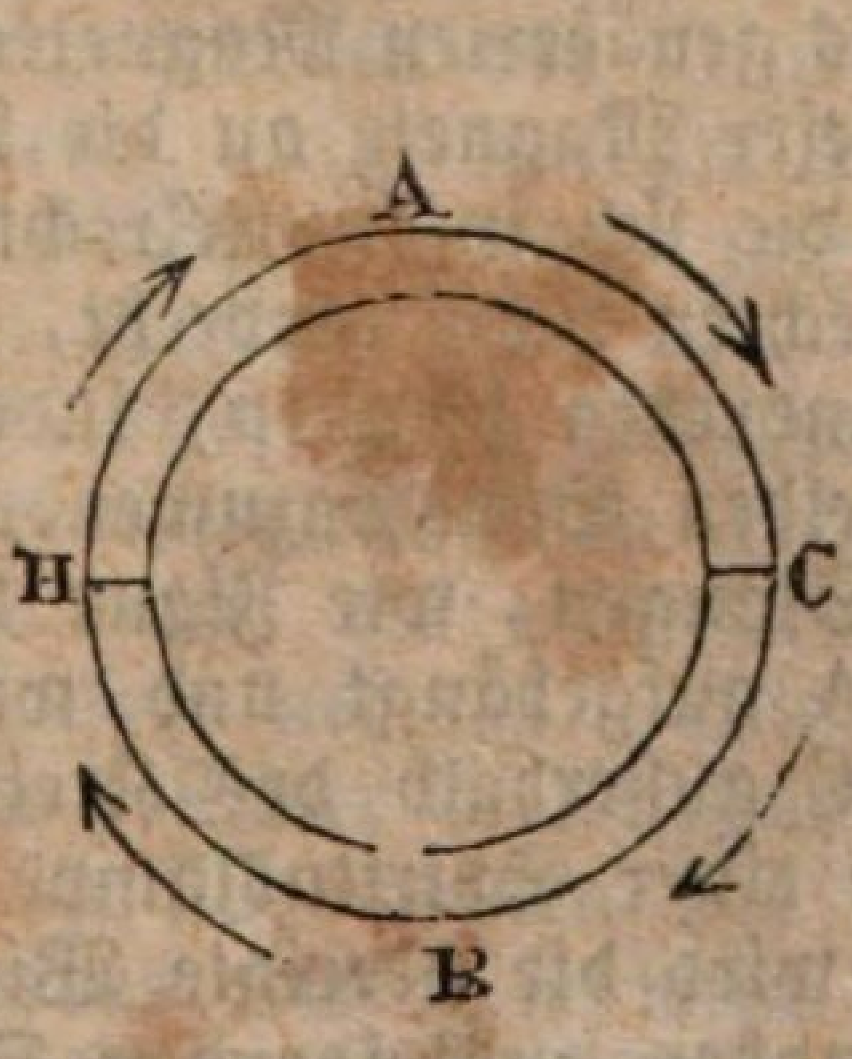


Fig. 169.

305. Der so erregte Strom ist thermoelektrisch genannt worden, um ihn von dem gemeinen galvanischen Strom zu unterscheiden, welchen man hydroelektrisch nannte, weil er als einen wesentlichen Theil seiner Zusammensetzung ein flüssiges Element erheischte. Der Ausdruck stereoelektrisch ist ebenfalls angewandt worden, um anzuzeigen, daß er sich in Systemen zeige, welche nur aus festen Körpern bestehen. Es ist klar, daß diese Strömungen, wenn Magnete nach Ampere's Vermuthung ihre besonderen Eigenschaften dem fortwährenden Umlauf elektrischer Ströme in ihren kleinen Theilchen verdanken, unter dem Namen stereoelektrische Ströme zu bezeichnen sind.

306. Der Hauptbeweis, den wir über das Dasein thermoelektrischer Ströme haben, besteht in der Aeußerung elektromagnetischer Wirkungen. Eine Compaßnadel, die innerhalb oder außerhalb der Kette und in geringer Entfernung davon gestellt ist, wird von ihrer natürlichen Lage in einer Richtung abgewandt, die ihrer Lage in Bezug auf die Kette angemessen ist. Noch stärkere Anzeichen elektromagnetischer Wirksamkeit erlangt man dadurch, daß man die zwei Enden metallischer Bogen in Berührung mit den Drähten eines Galvanometers setzt. Der thermoelektrische Strom hat ebenfalls Zusammenziehungen in den Muskeln eines Frosches erregt; soweit man aber bis jetzt weiß, ist er nicht genügend, chemische Zersetzungen hervorzurufen, Metall glühend zu machen, Funken oder andere Erscheinungen gewöhnlicher Elektrizität zu zeigen.

307. Wenn die Metallbögen, durch welche der thermoelektrische Strom hindurchgeleitet wird, indem man Wärme auf einen der Berührungspunkte der verschiedenen Metalle anwendet, auf zarte Weise aufgehängt werden, so gehorchen sie der Wirkung eines genäherten Magnetes. Wenn die entgegengesetzten Pole zweier Magnete an die Außenseite einer Kette angewandt sind, die sich in scheitelrechter Fläche bewegt und auf einer scheitelrechten Achse umdreht, so kann man die Leiter ebenfalls zum Umdrehen bringen, indem man fortfährt, die Wärme von derselben Seite anzuwenden. Wird so die runde Anordnung der Stangen, wie Figur 169 dargestellt ist, an einen Faden in A aufgehängt und werden (entgegengesetzte Pole in H und C außerhalb des Kreises angebracht, während die Flamme einer Spirituslampe fortwährend an H gehalten wird, so wird die vereinte Wirkung der zwei Magnetpole auf den nahen aufsteigenden Strom bei H und den absteigenden Strom bei C dahin wirken, den Kreis zu bewegen, bis seine Fläche in rechtem Winkel zu seiner früheren

Stellung steht. Der Antrieb aber, den er so durch die vereinte Wirkung erlangt hat, ist genügend, um die Bewegung fortzusetzen, bis die Seite C an die Flamme kömmt. Ist dieser Theil des Kreises so erwärmt, während H sich zugleich abkühlt, so wird ein elektrischer Strom von C durch A nach H und wieder zurück durch B nach C geleitet, welche Richtung in Bezug auf den Magnet dieselben ist, wie früher, und der Kreis wird in der Umdrehung weiter getrieben. Hat er eine gänzliche Umdrehung vollendet, wobei alle Umstände dieselben bleiben wie zuerst, so wird ein anderer Anstoß gegeben und der Kreis wird fortfahren, sich unaufhörlich umzudrehen, indem der Strom sich abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen bei jeder halben Umdrehung des Kreises bewegt.

308. Andererseits wird der Pol eines Magnetes, der sich innerhalb der Kette befindet, keine Neigung zur Erzeugung der Drehung haben, weil der Strom in den entgegengesetzten Zweigen des Kreises sich in entgegengesetzten Richtungen bewegt; der Kreis deßhalb, welcher vom Magnet in entgegengesetzten Richtungen umgetrieben wird, bleibt im Gleichgewicht. Allein zwei Systeme von Kreisen, jeder auf einem Punkte an den Enden eines Hufeisenmagnetes gehalten, und mit den Polen nach oben gestellt, d. h. wie in Figur 50, werden sich ein jeder in der Richtung eines ihm nahe liegenden Poles bewegen, wenn eine Lampe gerade in der Mitte zwischen den Polen angebracht ist.

309. Aus diesen und andern Versuchen ähnlicher Art ergibt sich, daß die gegenseitige Wirkung eines Magnetes und eines thermoelektrischen Stromes denselben Gesetzen wie der Magnet und der galvanische Strom unterworfen ist, und so lassen sich alle Erscheinungen der Anziehung, Abstoßung oder Drehung von Leitern, welche galvanische Ströme führen, durch einen thermoelektrischen Strom zeigen, welcher von denselben Leitern überliefert wird.

310. Die zwei Metalle, deren Verbindung und Berührung die gewaltigsten thermoelektrischen Ströme erzeugt, sind Antimonium und Bismuth, die wir somit als Repräsentanten besonderer Klassen nehmen. Wie in galvanischen Ketten, wo der Strom positiver Elektrizität vom Kupfer zum Zink fließt, letzteres im Allgemeinen als positiv in Bezug auf das erstere angegeben wird, so wird im thermoelektrischen Strom Bismuth meist als positiv in Bezug auf Antimonium angegeben, weil der elektrische Strom in dem

kälteren Theil der Kette vom Antimonium zum Bismuth geht. *

311. In der Darstellung des Galvanismns (§. 73) ist eine Liste metallischer Stoffe in der Ordnung ihrer Oxydirbarkeit oder vielmehr in der Ordnung ihrer elektrischen Verhältnisse gegeben worden, wenn sie mit zwischenliegenden Säuren in galvanischen Ketten vereinigt sind. Eine Anzahl Versuche ist von Cumming gemacht worden, um die thermoelektrischen Verhältnisse der verschiedenen Metalle in der Bildung von Ketten, wenn sie paarweise genommen sind, darzustellen. Hieraus ist die folgende Reihe abgeleitet worden, die von dem äußersten positiven zum äußersten negativen absteigt, d. h. vom Bißmuth zum Antimonium.

Bismuth.	Gold.
Quecksilber. }	Kupfer.
Nickel. }	Silber.
Platina.	Zink.
Palladium.	Cadmium.
Kobalt.	Kohle. }
Mangan. }	Reißbei. }
Zinn.	Eisen.
Blei.	Arsenik.
Messing.	Antimonium.
Rhodium.	

312. In dieser Reihe ist jedes Metall positiv in Bezug auf alle oberen und negativ auf alle unteren; deßhalb werden zwei Metalle, die Lagen zwischen den beiden äußersten einnehmen, zusammen eine thermoelektrische Kette, ähnlich der von Bismuth und Antimonium, bilden, obgleich von geringerem Vermögen.

313. Die Ordnung, worin die Metalle in obiger Reihe stehen, bleibt nicht dieselbe in allen Temperaturen; so müssen Gold, Silber, Kupfer, Messing und Zink unter Eisen; in hoher Temperatur gestellt werden, obgleich sie bei niedriger Temperatur darüber stehen.

314. Vergleicht man die obige Reihe, welche die thermoelektrischen Verhältnisse der Metalle darstellt, mit derjenigen, die in der Darstellung des Galvanismus §. 73 gegeben ist,

* Es herrscht jedoch einige Verwirrung in der Anwendung der Ausdrücke positiv und negativ auf verschiedene Theile der Kette bei verschiedenen Verfassern von Werken über Physik und bisweilen sogar bei denselben Verfassern an verschiedenen Orten.

und welche ihre galvanische Verhältnisse angibt, so ist es klar, daß keine Entsprechung zwischen ihnen stattfindet.

315. Die Berührung der Metalle in diesen Versuchen ist durch ihre Zusammennietung vollkommen gelungen; in den meisten Fällen wird es genügend sein, wenn sie die Form von Drähten haben, daß man sie dicht zusammenflicht. Quecksilber läßt sich passend als das Mittel zwischen anderen Metallen anwenden, indem man das Quecksilber vorher erwärmt, die Enden jedes Stückes, die ein Paar bilden, in demselben Augenblick eintaucht und die andern Enden an ein Galvanometer anbringt. Sogar ein kleines Stück von irgend einer metallischen Substanz genügt, um Anzeigen seiner thermoelektrischen Verhältnisse zu geben, wenn man es auf eine Scheibe des Metalles, womit es verglichen werden soll, stellt, und mit einem heißen Drahte berührt; die Kette wird alsdann durch den Draht und die Scheibe vervollständigt. Man findet jedoch, daß die Resultate von so angestellten Versuchen nicht immer mit denen übereinstimmen, die man durch Anwendung größerer Stücke erlangt, denn es scheint, daß die Wirkung einen starken Einfluß durch die Größenverhältnisse der erwärmten Oberflächen erleidet. Ist sogar der Versuch gemacht, daß man die zu untersuchenden Metalle in erwärmtes Quecksilber eintaucht, so wird die Richtung des Stromes in vielen Fällen durch die Ordnung bestimmt werden, worin dieselben eingetaucht sind.

316. Beträchtliche Verschiedenheiten finden sich in den Richtungen des Stromes, wenn die Metalle eine Legirung erhalten oder sich nicht im Zustande vollkommener Reinheit befinden. Obgleich Bismuth und Zinn ein jedes positiv in Bezug auf Kupfer ist, so findet man doch, daß eine Legirung des ersteren negativ in Bezug auf das letztere Metall ist.

317. Wir sind noch weit von einer Theorie entfernt, wodurch alle zur Thermoelektrizität gehörigen Thatsachen sich genügend erklären lassen. Der verständlichste Bericht darüber scheint der von Becquerel, welcher von folgender Vermuthung ausgeht: Wenn ein Metalltheilchen Wärme von einem Körper höherer Temperatur, wie es selbst besitzt, erlangt, so wird der Theil neutraler elektrischer Flüssigkeit, welcher daran geheftet ist, zersetzt, die Glaselektrizität wird beibehalten und die Harzelektrizität ausgetrieben, worauf sie in die anstoßenden Metalltheilchen übergeht. Im Verhältniß wie die Wärme durch Mittheilung von einem Theile zum andern sich ausdehnt, finden sich ähnliche Wirkungen in jedem derjenigen, welche Wärme erlangen, während entgegengesetzte Wirkungen in allen denjenigen stattfinden, die Wärme verlieren. So

erzeugt die einfache Verbreitung desjenigen Theils Wärme, welcher ursprünglich von dem ersten Theilchen empfangen wurde, nur eine schwingende Bewegung der elektrischen Flüssigkeiten zwischen den nahen Theilchen, welche von einer Reihe Zersetzungen und Verbindungen der zwei elektrischen Flüssigkeiten begleitet ist. Ist aber die Quelle der Wärme eine bleibende, so daß die Temperatur der ersten Theilchen, welche sie empfangen, gleichförmig erhalten wird, so werden die rückgängigen Bewegungen der zersetzten Flüssigkeiten verhindert, und ein fortlaufender Strom einer jeden findet in entgegengesetzten Richtungen statt; die negative Elektrizität wird vorwärts von den Theilen, wo die Temperatur noch hoch ist, zu denen, welche kälter sind, getrieben, und ein positiver Strom bewegt sich in entgegengesetzter Richtung. Aus dieser Vermuthung folgt, daß die Ströme, wenn zwei verschiedene Metalle in Berührung gebracht sind, so daß sie eine Kette bilden, von den erwärmten Theilen, die verbunden sind, in entgegesetzten Richtungen getrieben werden; der stärkste aber wird vorherrschen, und der wirklich beobachtete thermoelektrische Strom ist derjenige, welcher eine Resultante ist, und dessen Stärke der Differenz zwischen den beiden gleich ist, die zu gleicher Zeit entwickelt worden sind.

318. Thermoelektrizität scheint nicht ihre Quelle in chemischen Veränderungen zu haben, welche in dem Material der Kette stattfinden. Oxydirung wenigstens hat keinen Antheil an der Wirkung, denn Becquerel hat die Versuche Seebecks und Anderer auf diese Wirkung wiederholt, wenn die Vorrichtung mit Wasserstoffgas umgeben war, ohne daß er einen merkbaren Unterschied in dem Ergebnisse erhielt.

319. Die hauptsächlichste Besonderheit, welche thermoelektrische Ströme von denen galvanischer Wirkung unterscheidet, besteht darin, daß der Ertrag der umlaufenden Elektrizität weit größer im Vergleich mit seiner Stärke ist. In dieser Hinsicht sind sie noch weit mehr von dem Zustand der Ströme entfernt, welche man durch die gewöhnliche Elektrisirmaschine erzeugt, da diese eine weit größere Kraft besitzen, obgleich sie im Betrage bei weitem nicht so bedeutend sind, wie galvanische Ströme; deßhalb läßt sich die Gegenwart thermoelektrischer Ströme hauptsächlich durch ihre Wirkung in Erzeugung von Abweichungen der Magnetnadel erkennen. Der niedrige Zustand dieser Strömungen veranlaßt einen großen Verlust an Kraft, wenn sie eine beträchtliche Linie von Leitern zu durchziehen haben, sogar von Metallen, welche die vollkommensten Leiter sind. Deßhalb gewinnt man sehr wenig Vortheil, bildet man zusammengesetzte Ketten, d. h.

ordnet man ihre Elemente in eine Reihe von Abwechslungen, die denen der Volta'schen Säule entsprechen. Fourier und Oersted machten Versuche dieser Art; sie vereinigten zuerst drei Stangen Bismuth mit drei Stangen Antimonium, die abwechselnd gestellt waren, so daß sie die Seiten eines Sechsecks bildeten, und mit zusammengenieteten nahen Enden, so daß sie so eine thermoelektrische Kette bildeten, welche drei Paar Elemente einschloß. Die Länge der Stangen betrug 4½″, die Breite ½″ und die Dicke ⅙″. Diese Kette ward auf zwei Stützen in horziontaler Stellung gelegt, indem eine der Seiten des Sechsecks im magnetischen Meridian lag. Eine Compaßnadel wurde unter diese Seite und ihr so nahe wie möglich gestellt; sie erlitt sehr merkbaren Einfluß, wenn einer der genieteten Theile durch die Flamme einer Lampe erhitzt wurde. Die Abweichung steigerte sich beträchtlich, erhitzte man zwei der abwechselnden Winkel des Sechsecks, und eine noch größere Abweichung ward erzeugt, wenn die Wärme auf die drei abwechselnden Winkel angebracht wurde. Aehnliche Wirkungen wurden erzeugt, wenn man statt Wärme anzuwenden, die Temperatur eines oder mehrer Winkel durch Anbringung von Eis verminderte; wenn die Wirkung des Eises mit der der Flamme an den abwechselnden Winkeln des Sechsecks vereinigt wurde, so war die Wirkung noch beträchtlicher, indem die Abweichung der Nadel sich auf 60° belief.

320. Setzt man diese Versuche mit zahlreicheren Abwechslungen fort, so ergibt sich die Totalwirkung einer zusammengesetzten thermoelektrischen Kette als der Summe der Wirkungen sehr untergeordnet, welche dieselben Elemente erzeugen könnten, wenn man sie in der Bildung einfacher Ketten anwendete, so daß die in Thätigkeit berufenen elektromagnetischen Kräfte sich in weit geringerem Verhältniß vermehren, wie die Zahl der Abwechslungen, welche eine Reihe bilden.

321. Nobili und Melloni haben folgende Versuche angestellt: eine thermoelektrische Säule aus 36 Paaren Platten von Bismuth und Antimonium gebildet, die einen Galvanometer mit zwei daran befestigten Nadeln hatte, ergab sich als so empfindlich, daß sie durch die Wärme einer 30′ entfernten Person Einfluß erlitt. Eine Anzahl zarter Versuche wurde mit dieser Vorrichtung über die Durchdringbarkeit der Körper durch strahlende Hitze über die Temperatur von Insekten und über das verschiedene Vermögen von Körpern, Wärme auszusenden, zurückzuwerfen und einzusaugen, angestellt. Die Schlüsse Fouriers und Oersteds in Bezug auf die begrenzte Wirkung der Vermehrung der Zahl der Ab-

wechslungen in Vermehrung der Stärke des Stromes wurde dadurch sehr in Zweifel gestellt.

322. Aus den Beobachtungen Cummings könnte es scheinen, obgleich die hydroelektrischen und thermoelektrischen Ströme als fortlaufend betrachtet werden können, vergleicht man sie mit der gewöhnlichen Elektrizität, welche die Elektrisirmaschine erregt, daß dennoch die thermoelektrischen Strömungen, mit den hydroelektrischen verglichen, einen bei weitem vollständigern Umlauf bieten. Dies ergibt sich aus der Betrachtung, da eines der drei Elemente einer galvanischen Kette nothwendig eine Flüssigkeit sein müsse, so werde sie ein unvollkommenerer Leiter sein wie Metalle, und werde einigen Grad des Widerstandes dem Durchgang der elektrischen Ströme durch die ganze Vereinigung entgegensetzen.

323. Genau genommen gibt es deßhalb drei Arten Elektrizität. Die aus der Elektrisirmaschine hergeleitete findet sich im höchsten Grade der Spannung und häuft sich an, bis sie sich einen Durchgang durch die Luft bilden kann, welche ein vollkommener Nichtleiter ist. In der galvanischen Vorrichtung haben die Ströme einen kleineren Grad Spannung, weil sie, obgleich sie frei durch die metallischen Elemente der Körper gehen, ein Hinderniß in Durchziehung des flüssigen Leiters antreffen. In den thermoelektrischen Strömen ist die Spannung auf Null herabgebracht, weil kein Hinderniß im ganzen Lauf der Kette für den freien und gleichförmigen Umlauf sich vorfindet.

324. Diese Betrachtungen dienen auch zur Erklärung, weßhalb die letzteren Strömungen in der Wirkung kein Vermögen zu irgend einer Art chemischer Zersetzung, oder nicht einmal zur Erzeugung eines Grades von bleibendem Magnetismus besitzen. Bisher hat man es für unmöglich erkannt, Stahlstangen vermittelst der Thermoelektrizität zu magnetisiren, obgleich die zu diesem Zweck erzeugte Vorrichtung für die Hervorbringung einer starken Wirkung auf die Magnetnadel genügte.

325. Wahrscheinlich beruht es auf einer Eigenschaft dieser Art in den Strömungen, welche die Theorie als die Quelle des Magnetismus aufweist, nämlich auf einem Mangel an Spannung, daß alle Bemühungen, die man so oft gemacht hat, um vom Magnetismus reine elektrische Wirkungen zu erlangen, sämmtlich mißlungen sind. Obgleich ein Magnet gewaltigen Einfluß durch einen Elektrizitätsstrom erleidet, der aus einer Volta'schen Batterie hervorgeht, so scheint es nicht, daß der Magnet Stärke, oder Geschwindigkeit, oder irgend eine andere Eigenschaft des elektrischen Stromes ver-

mehren oder vermindern kann. Die einzige Weise, worin die Rückwirkung des Magnetes sich zeigt, besteht darin, daß er dem elektrischen Strome eine Neigung zu seitlicher Abweichung ertheilt, als würde er durch Tangentialkräfte angetrieben, die von den Polen des Magnetes ausgehen. Wenn der Draht eines Galvanometers einen Theil einer Volta'schen Kette bildet, und wenn ein kräftiger Magnet an andere Theile der Kette angebracht wird, mögen dieselben in Schraubengewinde oder nicht gebogen sein, so zeigt sich kein Anzeichen einer Wirkung vom Magnet durch die Nadel des Galvanometers. Faraday jedoch ist mit einer solchen Untersuchung durch Versuche beschäftigt.

Vierzehntes Kapitel.

Einfluß des Lichtes auf Magnetismus.

326. Morichini (in Rom) machte 1813 bekannt, er habe entdeckt, daß Stahl, in einer eigenthümlichen Weise den concentrirten violetten Strahlen des Sonnenspektrums ausgesetzt, magnetisch werde; da jedoch der Versuch seitdem mißlang, so hegte man Mißtrauen hinsichtlich dieser Angabe. Christie jedoch kam 1824 durch einige Versuche zu dem Schluß, daß die Sonnenstrahlen wirklich einen erkennbaren Einfluß auf den Magnetismus üben, welcher sich dadurch äußert, daß sie eine ihnen ausgesetzte Magnetnadel unabhängig von der durch sie mitgetheilten Wärme sich schwingen lassen.

327. 1825 wurde Frau Somerville durch die ungewöhnliche Reinheit des Wetters zur Nachforschung dieses außerordentlichen Gegenstandes bewogen. Da sie damals keine Kenntniß von der Art der Versuche Morochini's besaß, kam sie auf den Gedanken, wenn die ganze Nadel gleicherweise den violetten Strahlen ausgesetzt werde, sei es wahrscheinlich, daß derselbe Einfluß beide Pole hervorbringen würde; sie bedeckte deßhalb die Hälfte einer Nähnadel von 1″ Länge mit Papier und befestigte sie in solcher Weise, daß der unbedeckte Theil den violetten Strahlen eines Farbenspektrums ausgesetzt ward, welches durch ein gleichseitiges Prisma von Flintglas auf ein Viereck in der Entfernung von 5′ geworfen wurde; als der Ort des Spektrums durch Bewegung der Sonne sich änderte, wurde die Nadel in solcher Weise bewegt, daß sie dem violetten Licht fortwährend ausgesetzt blieb; da die Sonne hell schien, war die Nadel, welche vorher kein Zeichen Polarität gegeben hatte, in weniger wie zwei Stunden magnetisch geworden, indem das ausgesetzte Ende die Eigenschaften eines Nordpols erhalten hatte. Da das Wetter der Jahreszeit günstig blieb, so bot sich Gelegenheit, den Versuch täglich mit Nadeln verschiedener Größe zu wiederholen, die in verschiedenen Stellungen in Bezug auf den Meridian und die verschiedenen Entfernungen vom Prisma gestellt wurden; das Resultat war beinahe gleichmäßig. Es war jedoch nicht nothwendig, das Zimmer zu verdunkeln, vorausgesetzt, das Farbenspektrum wurde außerhalb der direkten Sonnenstrahlen geworfen.

328. Frau Somerville suchte sich zunächst zu überzeugen, ob andere prismatische Strahlen dieselbe Eigenschaft wie der violette besaßen. Nadeln wurden den blauen und grünen Strahlen ausgesetzt und erlangten bisweilen Magnetismus, obgleich weniger gleichförmig und nicht so schnell wie bei violetten Strahlen; wenn Magnetismus so mitgetheilt wurde, so schien er eben so stark wie in ersterem Fall. Mit den Indigostrahlen gelang es beinahe ebenso gut wie mit den violetten. Das ausgesetzte Ende wurde fast stets ein Nordpol. Niemals wurde Magnetismus durch die orange oder rothen Strahlen erzeugt, obgleich die Nadeln drei Tage lang hintereinander ihrem Einfluß ausgesetzt wurden; noch auch brachten die erwärmenden Strahlen des Spektrums eine Wirkung hervor.

329. Hierauf wurden Stücke von Uhrfedern ähnlichen Versuchen mit gleichem oder noch größerem Erfolg ausgesetzt; sie waren für diesen besonderen magnetischen Einfluß wahrscheinlich wegen ihrer blauen Farbe oder größeren verhältnißmäßigen Oberflächen empfänglich. Die violetten Strahlen, in einer Linse conzentrirt, erzeugten Magnetismus in noch kürzerer Zeit wie das Prisma allein.

330. Hierauf wurden Versuche gemacht, Sonnenstrahlen durch gefärbte Mittel zu übersenden. Nadeln, halb mit Papier bedeckt, wurden auf einem Stein außerhalb eines Fensters unter einem blauen, mit Kobalt gefärbten Glase der heißen Sonne drei oder vier Stunden lang ausgesetzt. Sie wurden schwach magnetisch und ihr Magnetismus war nicht bleibend. Bei nachfolgenden Versuchen, indem man Nadeln sechs Stunden lang aussetzte, wurde ein sehr sichtbarer Grad Magnetismus erlangt und war bleibend. Die durch das blaue Glas gesandten Strahlen schwärzten salzsaures Silber ebenso kräftig, als seien sie durch ungefärbtes Glas gesandt worden, und erwiesen so, dasselbe sei durchgänglich für die chemische Wirkung der Strahlen des Sonnenspektrums. Grünes Glas wurde ebenfalls versucht und die hindurchgedrungenen Strahlen theilten ebenfalls Magnetismus mit. Das weiße Licht der Sonne erzeugte keine magnetische Wirkung bei den seinem Einfluß ausgesetzten Nadeln.

331. Obgleich die Versuche genau in den Einzelnheiten beschrieben waren, hatten Andere, welche dieselben anstellten, keinen Erfolg; auch Versuche über die Schwingungen der Nadel von Rieß und Moser blieben ohne Erfolg. Der Gegenstand läßt sich deßhalb als noch nicht gänzlich erforscht betrachten und erheischt eine weitere Untersuchung.

Fünfzehntes Kapitel.

Ursprung des Erdmagnetismus.

332. Mehre Ursachen sind hinsichtlich des magnetischen Einflusses angegeben worden, welche die Erdkugel, wie wir gesehen haben, nicht allein auf die Magnetnadel, sondern auch über Strömungen Volta'scher Elektrizität, welche durch Leiter fortgepflanzt wird, ausgeübt (§. 128 u. f.). Wahrscheinlich findet sich unter den Stoffen, welche das Innere der Erde einnehmen, eine Wirkung verschiedener Art; diese Wirkung wird meist jedoch langsam sein, und mit einem gewissen Grad Gleichförmigkeit sehr lange Zeit fortdauern. Hauptsächlich wird dieselbe in den oberflächlichen Schichten der Erde vorkommen, wo die vereinigten Wirkungen des Wassers, der atmosphärischen Luft und der Wärme sich in fortwährender Wirksamkeit befinden. Der Einfluß der Sonnenstrahlen auf eine Oberfläche von so großer Ausdehnung muß sehr beträchtlich sein; mit Ausnahme der Pole ist jeder Theil dieser Oberfläche abwechselnd ihren Wirkungen ausgesetzt und erlangt während dieser Aussetzung einen gewissen Grad Wärme, die durch Ausstrahlung wieder verloren geht. Obgleich die Wirkung dieser abwechselnden Temperaturveränderung sich nur über eine kleine Tiefe unter der Oberfläche ausdehnt, so können dieselben doch, betrachtet man ihre ungemeine Ausdehnung, thermoelektrische Ströme von beträchtlichem Vermögen erschaffen. Auch ist vermuthet worden, daß diese Wirkungen sich mit einem Einfluß anderer Art verbinden, welcher unmittelbarer von der Umdrehung der Erde um ihre Achse herstammt, nach dem Grundsatz, daß alle Körper magnetische Polarität durch Umdrehung erlangen.

333. Der Umstand, daß elektrische Strömungen in verschiedenen festen Schichten der Erdoberfläche umlaufen, ist nicht bloß Sache der Vermuthung, sondern ist von Robert Fox in seiner Schrift über die elektromagnetischen Eigenschaften von Erzgängen durchaus bewiesen worden. Da er durch die Theorie zu dem Glauben gelangte, eine Verbindung bestehe zwischen der elektrischen Wirkung im Innern

der Erde und der Anordnung der Erzgänge, so suchte er seine Meinung durch Versuche zu bestätigen. Die ersten Versuche mißlangen. Durch Beharrlichkeit erlangte er zuletzt entscheidenden Beweis über eine beträchtliche elektrische Wirkung in dem Bergwerk von Huel Jewel in Cornwallis. Seine Vorrichtung bestand aus kleinen Platten Kupferblech, die mit dem Erz der Metalladern durch Kupfernägel in Berührung gebracht waren, oder die man vermittelst hölzerner Stützen in den horizontalen Gängen der Grube daran befestigt hatte. Zwischen zweien dieser Platten wurde auf verschiedenen Punkten eine Verbindung vermittelst eines Kupferdrahts von $^1/_{20}$″ Durchmesser hergestellt, welcher einen Galvanometer in einer Kette enthielt. In einigen Beispielen wurden 300 Faden Kupferdraht angewandt.

334. Die Stärke der elektrischen Ströme war in verschiedenen Orten beträchtlich verschieden; meist war sie im Verhältniß größer, je nach dem größeren Ueberfluß des Kupfererzes in den Adern, bisweilen nach der Tiefe des Ortes. Diese merkwürdige Thatsache kann möglicher Weise dem Bergmann nützliche Anzeichen über die Menge Erz, der Ader und über die Richtung, worin sie ergiebig ist, geben. Die so fortwährend in Wirksamkeit bleibende Elektrizität scheint keinen Einfluß durch die Gegenwart der Arbeiter und ihrer Lichter zu erleiden, nicht einmal durch die Explosion des Pulvers beim Sprengen.

335. Fox bemerkt, daß Erze, welche Elektrizität überliefern, zwischen sich und der Oberfläche meist ein zwischenliegendes leitendes Material haben, ein Umstand, der einige Aehnlichkeit mit den gewöhnlichen galvanischen Verbindungen zu haben scheint. Diese elektrischen Ströme, welche Bergwerke durchziehen, hatten verschiedene, und häufig entgegengesetzte Richtungen in verschiedenen Theilen desselben Bergwerkes.

336. Die Metalle sind wahrscheinlich nicht die einzigen Stoffe, welche elektrische Ströme in der Erde erzeugen können, man weiß nämlich, daß Elemente nichtmetallischer Art galvanische Verbindungen bilden können (Galvanismus §. 87). Die Richtung jedes Stromes wird natürlich durch die verhältnißmäßige Lage bedingt, von welcher sie herstammt; wenn wir aber sogar annehmen, die Anordnung dieser Elemente sei zufällig, so wird sich ein vorherrschender Strom ergeben, der aus der Differenz ihrer Wirkungen entsteht, denn es ist unendlich unwahrscheinlich, daß die Strömungen ohne bestimmte Anordnungen in entgegengesetzten Richtungen genau gleich sein sollten, so daß sie einander

zerstörten. Unregelmäßigkeiten der Vertheilung finden sich wahrscheinlich in Bezug auf das Material in dem Innern der Erde. Die sich ergebende elektromagnetische Wirkung der ganzen Verbindung wird diejenige sein, deren Wirkung wir erkennen, und die sich als aus elektrischen Strömen entstanden betrachten läßt, welche parallel zum magnetischen Aequator um die Oberfläche der Erde umlaufen.

337. Sogar in den Unregelmäßigkeiten der magnetischen Erdkräfte läßt sich die Wirkung der Ursachen erkennen, die periodisch in ihrer Wirkung sind. So läßt sich der tägliche und jährliche Wechsel in der Abweichung der Nadel auf entsprechende Veränderung in der Lage der verschiedenen Theile der Erde zur Sonne folgern, soweit diese elektrischen Strömungen vom Einfluß der Sonne abhängen. Die fortrückenden Veränderungen in der Abweichung, welche längere Zeiträume umfassen, lassen sich weniger leicht erklären und scheinen auf Ursachen sich zu beziehen, die in größerer Tiefe unter der Erdoberfläche wirken. Wahrscheinlich stehen sie mit chemischen Veränderungen in Verbindung, welche im Innern der Erde stattfinden, und worüber wir keine gewisse Kunde haben.

338. Im Allgemeinen also ist anzunehmen, man habe starke Gründe zu dem Glauben, daß eine gegenseitige Verbindung oder vielmehr ein genaues Verhältniß und eine genaue Verwandtschaft zwischen den verschiedenen unwägbaren wirkenden Mitteln, Wärme, Licht, Elektrizität und Magnetismus, besteht, welche den ganzen Raum durchdringen und über alle Erscheinungen der Erde einen gewaltigen Einfluß üben.

A n m e r k u n g. Während diese Schrift gedruckt wurde, hat Faraday eine Schrift herausgegeben, welche einen höchst wichtigen Grundsatz des Elektromagnetismus enthält, von dem wir aber hier nur eine kurze Angabe machen können.

Faraday hat durch eine Menge Versuche die allgemeine Thatsache bewiesen, daß, wenn ein Metallstück in gegebener Richtung entweder vor einem einzigen magnetischen Pole oder zwischen den entgegengesetzten Polen eines Hufeisenmagnetes bewegt wird, elektrische Ströme in dem Metall sich entwickeln, die in einer Richtung in rechten Winkeln zu der Richtung seiner eigenen Bewegung gehen. Die Anwendung dieses Grundsatzes gewährt eine vollständige Erklärung der von Arago, Herschel, Babbage und Andern beobachteten Erscheinungen, wo magnetische Wirksamkeit sich durch bloße

Drehung zu entwickeln schien, und die man irrthümlich der magnetischen Induktion und der Zeit, welche für den Vorgang dieser Induktion erforderlich war, zuschrieb. Die elektromagnetische Wirkung des Stromes, der in einem Leiter durch einen magnetischen Pol in Folge der Bewegung eingeführt wird, ist solcher Art, daß er sich fortwährend bestrebt, diese Bewegung zu mindern, d. h. die bewegenden Körper in einen Zustand der Ruhe zu bringen, so daß, wenn der eine durch fremde Kraft sich umdreht, der andere sich in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit mit ihm umzudrehen bestreben wird.

Nachschrift.

Der Zweck unserer Darstellungen war, eine zusammengedrängte und systematische Zusammenstellung der wichtigsten Thatsachen über Elektrizität und Magnetismus. Diese Erscheinungen, welche früher als die Wirkungen zweier besonderer Kräfte galten, sind jetzt als in innigem Verhältniß stehend und wahrscheinlich als aus derselben Quelle stammend entdeckt worden, ebenso wie Newton entdeckte, daß die einzelnen entdeckten Erscheinungen des Weltalls sich auf das einzige Gesetz der Schwere zurückführen ließen. Ein gedrängter und systematischer Bericht über die zahlreichen Entdeckungen von Physikern in diesem Zweige der Physik, aus den verschiedenen wissenschaftlichen Zeitschriften gesammelt und geordnet, schien ein allgemeines Bedürfniß, und die Gesellschaft zur Verbreitung nützlicher Kenntnisse gab demzufolge dem Verfasser den Auftrag. Dieser bemühte sich, den Leser von den einfachen zu den verwickelteren Gegenständen zu führen und stets den Unterschied zwischen gewissen Thatsachen und Vermuthungen, sowie Theorien zu deren Erklärung hervorzuheben, und so den echten Geist physischer Untersuchungen zu fördern, durch welche allein Irrthum vermieden und Wahrheit erreicht werden kann.

Für mancherlei Mängel entschuldigt sich der Verfasser für die oft geringe Zeit, die er während vier Jahre wegen seines Berufes als Arzt in London und Sekretär der königlichen Gesellschaft auf dies Werk bei häufigen Unterbrechungen verwenden konnte. Auch sind viele werthvolle Untersuchungen und Entdeckungen seit der Herausgabe der Schriften über Elektrizität, Galvanismus und Magnetismus gemacht werden. Dies jedoch ist ein Uebelstand, welcher gegenwärtig bei der Herausgabe einer Schrift über Naturwissenschaft unvermeidlich wird. Täglich wird der Vorrath unseres Wissens vermehrt; wir können kaum hoffen, damit Schritt zu halten und können niemals die Erwartung hegen, in einem systematischen Werke dieser Art alles zusammenzufassen, was bis zum letzten Augenblick der Herausgabe bekannt wurde. Zu warten, bis Vollkommenheit erreicht ist, wäre eitle Anmaßung; der Grund muß gelegt und der äußere Bau begonnen werden, lange bevor der innere vervollständigt ist. Erst die Nachwelt vermag den Schlußstein des Gewölbes zu legen.

Inhalt.

Erstes Kapitel.

Seite

Geschichte der Wissenschaft vor Oersted's Entdeckung . . 3

Zweites Kapitel.

Bericht von Oersted's Versuchen 9

Drittes Kapitel.

Grundgesetze des Elektromagnetismus 16

Viertes Kapitel.

Direkte Folgen elektromagnetischer Wirksamkeit 22
Wirkungen auf die Richtungseigenschaft einer Magnetnadel 22
Bewegung der Magnetnadel im freien Raum . . . 33

Fünftes Kapitel.

Anwendung der Grundsätze auf die Erklärung besonderer Thatsachen 43

Sechstes Kapitel.

Elektromagnetische Drehung 47

Siebentes Kapitel.

Zusammendrängung der Wirkungen 76
Umdrehung des Schraubengewindes 91

Achtes Kapitel.

Galvanometer 94

Neuntes Kapitel.

Elektromagnetische Wirkungen des Erdmagnetismus . . . 107

Zehntes Kapitel.

Elektromagnetische Induktion 124

Elftes Kapitel.

Gegenseitige Wirksamkeit elektrischer Strömungen . . . 134
Wirkung paralleler geradliniger Ströme 134

Seite
Wirkung geneigter geradliniger Ströme 141
Wirkung begrenzter Ströme 152
Wirkung auseinandergehender und zusammenlaufender Ströme 156
Wirkung zweier Ströme, die in verschiedenen Flächen liegen 160
Gegenseitige Wirkung geradliniger und krummliniger Ströme 162
Gegenseitige Wirkung kreisförmiger Ströme . . . 171
Gegenseitige Wirkung von Leitern in Schraubengewinde und geradlinige 175

Zwölftes Kapitel.

Theorie des Elektromagnetismus 185
Elektromagnetische Theorie Oersted's 185
Elektrodynamische Theorie Ampere's 191

Dreizehntes Kapitel.

Thermoelektrizität 215

Vierzehntes Kapitel.

Einfluß des Lichtes auf Magnetismus 224

Fünfzehntes Kapitel.

Ursprung des Erdmagnetismus 226

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Roget, Peter Mark,

Darstellung des Elektromagnetismus

Stuttgart 1847

Regensburg, Staatliche Bibliothek -- 999/Polym.45(194/208
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11112587-8